

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad dahleb BLIDA



Institut d'aéronautique et des études spatiales

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de  
Master en Aéronautique**

**THEME**

**ETUDE DU SYSTEME CNS/ATM ET PROGRAMMATION  
DES MODES DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME  
ANTICOLLISION TCAS II.VERSION 7.1**

**Réalisé par :**

**YAMANI SAAD**

**Encadré par :**

**Mr.A.ZABOT**

**PROMOTION 2014**

# REMERCIEMENTS

*Tous les éloges et les remerciements sont à Allah l'un, le seul créateur et gouverneur de cet univers. Merci mon bon dieu pour la force, le courage, la santé et la volonté que j'ai eu pour achever ce travail*

*Je présente mes vifs remerciements et gratitude a mon promoteur  
**MR ZABOT** pour les conseils qu'il apportés et la confiance qu'il me à témoignée tout au long de cette période.*

*Tous mes remerciements à **MR ABD EL HAKIM** Docteur en informatique au niveau de l'université des Sciences et Techniques*

*HOUARI BOUMEDIENE.*

*Je tiens à remercier vivement tous les enseignants du Département d'aéronautique et des études spatiale de l'Université de BLIDA qui nous ont fournis les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires, se fut un grand plaisir d'apprendre jour après jour.*

*Les membres de jury qui me font l'honneur de juger ce travail.*

## Résumé

Le transport aérien connaît une croissance durable depuis 1990. On constate depuis quelques années des difficultés grandissantes à accroître de façon significative la capacité des systèmes de gestion du trafic aérien. Des faibles variations du volume de trafic induisent dorénavant de très fortes variations dans les retards au décollage. Ces dernières années, l'accroissement exponentiel des retards au décollage montre que nous sommes face à un « mur de la capacité ». Ces constatations nous conduisent à explorer plusieurs voies de recherche pour sortir de cette impasse :

- Automatiser totalement les systèmes ;
- Déléguer aux avions la détection et la résolution des conflits de trajectoire (free flight) ;
- Renforcer la sécurité des vols pour assurer la confiance du public ;

Ce document décrit l'architecture du concept d'un système de transport aérien et une vision du futur environnement d'exploitation basé sur le concept CNS/ATM, ainsi une présentation d'un algorithme de résolution des conflits du système anti-collision TCAS II.

## Abstract

**With the astonishing growth of air transportation** since 1990, in recent years difficulty increase the ability of air traffic management, Small changes in traffic volume induce very large variations in delays, the exponential increase delays shows that we are facing a "wall of ability." These findings leads us to explore several field of research to overcome this impasse such as

Fully automate the system,

Delegate to aircraft detection and resolution of conflicts trajectory (free flight)

Enhance flight safety to ensure public confidence.

This paper describes the architecture of the concept of air transport system and a vision of the future operating environment based on the CNS / ATM concept, and a presentation of an algorithm for conflict resolution of Traffic Collision Avoidance System

## ملخص

يعرف النقل الجوي تطورا كبيرا منذ 1990 وقد شهدت السنوات الأخيرة زيادة التحديات التي تواجه تحقيق نظام لإدارة النقل الجوي في أحسن الأحوال. إن التغييرات الصغيرة في حجم حركة المرور الآن تقابلها تغييرات كبيرة جدا في تأخير الرحلات الجوية. والنمو المتسارع لهذا التأخير يبين لنا أننا نواجه "نقص القدرات" وعلي ضوء هذه النتائج تسني لنا دراسة عدة سبل لمواجهة التحديات من بينها العمل على تغيير الأنظمة الجوية لتصبح تعمل أكثر بنظام ألي ومنح الطائرات حرية أكبر في التصرف لتفادي الحوادث وتعزيز أنظمة الأمان لكسب ثقة المسافرين.

وهذا العمل يناقش طرق تفعيل نظام جوي ورؤية مستقبلية لإدارته مبنية على نظام الاتصالات الملاحة ومراقبة إدارة النقل الجوي CNS/ATM إلى جانب مقارنة لطرق برمجة النظام الآلي لتفادي الحوادث (TCASII V7.1).

|               |   |
|---------------|---|
| SOMMAIRE..... | 1 |
|---------------|---|

REMERCIEMENT

RESUME

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUE ET TABLEAUX

## Chapitre I : Introduction aux systèmes CNS/ATM

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| I.1.Introduction .....                                 | 4  |
| I.2. Définition du Concept CNS/ATM.....                | 5  |
| I.3. Eléments du système CNS/ATM.....                  | 6  |
| I.3.1. Communication.....                              | 6  |
| I.3.2. Navigation .....                                | 11 |
| I.3.3. Surveillance .....                              | 17 |
| I.3.3.1.Les moyenne de surviellence.....               | 18 |
| I.4.Tendances futures .....                            | 22 |
| I.5. Les avantages des nouveaux systèmes CNS/A TM..... | 23 |
| I.6. Evolution du concept CNS/ATM.....                 | 24 |
| I.7. Conclusion: .....                                 | 26 |

## Chapitre II : Etude des systèmes de surveillance et leur application en Algérie

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Introduction.....                                                      | 27 |
| II.4. Systèmes de poursuite.....                                             | 33 |
| II.5. Corrélation.....                                                       | 34 |
| II.6. Système de visualisation.....                                          | 34 |
| II.7. Service de surveillance sol.....                                       | 34 |
| II.8. l'application de la surveillance en Algérie.....                       | 36 |
| II.8.1.Zone de couverture.....                                               | 37 |
| II.8.2.Les moyens de surveillance mis à disposition de l'ATC : .....         | 38 |
| II.8.2.1. Le radar primaire : .....                                          | 38 |
| II.8.2.2.Le radar secondaire : .....                                         | 38 |
| II.8.2.3. Mise en œuvre de Surveillance Dépendante Automatique (ADS) : ..... | 39 |
| II.8.2.4.l'implémentation radar Mode S en Algérie : .....                    | 41 |
| II.9. Conclusion.....                                                        | 45 |

## Chapitre III : Etude du système TCAS [réglementation et technique]

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| III.1.Introduction.....                         | 46 |
| III.3. La description technique du TCAS II..... | 48 |
| III.4. La fonction de surveillance .....        | 54 |
| III.5. Limitation d'interférence.....           | 55 |
| III.6. Principe de fonctionnement : .....       | 56 |
| III.7.La fonction CAS .....                     | 58 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| III.7.1.Poursuite .....           | 59 |
| III.7.2.avis de trafic .....      | 59 |
| III.7.3.détection de menace ..... | 59 |
| III.7.4. Avis de résolution ..... | 60 |
| III.7.5. Annonce de l'avis .....  | 65 |
| III.8. Conclusion : .....         | 66 |

## **Chapitre IV: programmation des modes de fonctionnement du système anticollision TCAS**

### **II.VERSION.7.1**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| IV.1. Introduction.....                              | 67 |
| IV.3. Vérification du code source .....              | 69 |
| IV.4.Présentation du logiciel DEV C++.....           | 75 |
| IV.5.Programmation des modes de fonctionnement ..... | 76 |
| 5.1 .Mode 1 : le test de séparation .....            | 76 |
| 5.2 .Mode 2 : la Détection de menace .....           | 78 |
| 5.3 .Mode 3 : La fonction ALIM .....                 | 79 |
| 5.4 .Mode 4 : Inhiber la montée .....                | 80 |
| 5.5.Mode 5 : Eviter le croisement en haut.....       | 80 |
| 5.6.Mode 6 : Eviter le croisement en bas .....       | 82 |
| IV.6.Le test de séparation.....                      | 83 |
| IV.7.Exécution du programme : .....                  | 86 |
| IV.8.Résultats du test.....                          | 87 |
| IV.9. Conclusion : .....                             | 91 |

Conclusion générale

Bibliographie

annexe

# Introduction Générale

Le trafic aérien est depuis longtemps un secteur globalement en forte croissance. Face à un trafic qui double tous les dix ans, les services chargés du contrôle et de la régulation de la circulation aérienne ont dû trouver des solutions pour faire face à cette augmentation : recrutement de personnels supplémentaires, restructurations de l'espace aérien, innovations techniques. Ces mesures et ces innovations ont permis d'absorber toujours plus de trafic tout en améliorant ou en maintenant un niveau de sécurité élevé.

L'évolution du trafic aérien au cours de son histoire (environ 4.7 % d'augmentation du trafic passager chaque année pour l'Afrique), peut être caractérisée par quelques révolutions (introduction du radar, introduction du moteur à réaction).

La génération actuelle ne permettra pas de répondre à la demande de doubler la capacité et aux nouveaux besoins des compagnies de transport aérien.

Tout en conservant la même sécurité des vols, il va falloir réduire la distance de séparation des avions en vol, sortir des routes aériennes traditionnelles définies par les balises de radionavigation, multiplier les couloirs aériens, suivre les avions avec plus de précision, les identifier en toute certitude, planifier les vols en faisant abstraction des secteurs de contrôle et des frontières des États, prévoir et résoudre les conflits de trajectoires, permettre des changements des routes faciles, et prendre les décisions en collaboration avec les différents acteurs : contrôleurs, pilotes, compagnies aériennes, autorités aéroportuaires.

Il s'agit d'une évolution majeure, depuis l'aéroport et son environnement immédiat, jusqu'à l'espace " en route ", qui mène aux aéroports plus lointains.

Le transport aérien est en pleine expansion malgré les freins conjoncturels qui peuvent apparaître. Chaque acteur de l'aéronautique cherche l'amélioration des services du contrôle : sécurité, capacité, rapidité et flexibilité...

Dans ce contexte exigeant, des solutions sont envisageables grâce aux progrès des télécommunications, des techniques satellitaires et de la puissance informatique qui peut se diffuser dans tous les systèmes et équipements, et leur insuffler toujours plus de puissance et " d'intelligence ". Le concept qui s'impose, c'est le CNS/ATM « communication, navigation et surveillance/Air Traffic Management », c'est un maillage informatique entre le sol et le bord, c'est-à-dire entre les avions, les centres de contrôle du trafic, les aéroports et les centres d'opération des compagnies aériennes, sans

oublier les hommes (pilotes et contrôleurs), qui restent et resteront pour longtemps des maillons décisifs dans la boucle de surveillance, de planification et de contrôle du trafic aérien.

Un des éléments essentiels de cette stratégie c'est la surveillance, de nombreuses techniques utilisant des échanges de données numériques de surveillance sont à l'étude voire déjà en service : Data Link, Mode S, ADS-B, ACARS, TCAS III, etc...

Dans le but de développer ce sujet, on présentera dans le deuxième chapitre une étude sur la surveillance en termes de normes, classification et l'évolution, ainsi que ces applications en Algérie.

Parmi les moyens de surveillance on trouve le système TCAS « *Traffic collision Avoidance System* » est un instrument de bord d'avion, permet de signaler à un pilote si un autre avion est dans son espace et si il y a risque de collision, dans cette éventualité, le système TCAS donne un ordre d'évitement au pilote. La version 7.1 du système d'alerte de trafic et d'évitement de collision (TCAS) introduit des avantages en termes de sécurité et la réduction de la charge du travail du contrôleur car le personnel consacrera moins de temps à répondre aux alertes. Des études de sécurité indiquent que l'ACAS II réduit le risque de collision en vol de 75 % – 95 % lors de rencontres avec des avions qui sont équipés soit d'un transpondeur (uniquement) ou de l'ACAS II respectivement. L'OACI est convenue de rendre obligatoire l'ACAS amélioré, pour les nouvelles installations à compter du 01/01/2014 et pour toutes les installations au plus tard le 01/01/2017 pour les opérations aériennes.

Et pour mieux comprendre le fonctionnement du système TCAS nous explorons, les possibilités de programmation pour automatiser une partie du processus de résolution TCAS. On utilisant le logicielle C++, Ceci nous oblige à investir et à nous impliquer dans la plupart des axes de recherches.

Cette étude englobe dans le premier chapitre une présentation du concept CNS /ATM , dans Le deuxième chapitre nous présentons d'abord les systèmes de surveillance ensuite leur application en Algérie ,dans le chapitre 3 on a étudié le système TCAS (la réglementation et technique ),en suit La programmation de l'algorithme de résolution des conflits et les résultats que nous avons obtenus sont présentés dans le quatrième chapitre ,finalement on terminera avec une conclusion générale.

# CHAPITRE I

## Introduction aux systèmes CNS/ATM

### I.1.Introduction

Au cours des années 1980 le conseil de l'OACI a examiné la croissance régulière de l'aviation civile internationale et les prévisions de croissance du trafic .

Le conseil de l'OACI a conclu qu'il fallait engager une analyse et une réévaluation approfondie des méthodes et des techniques utilisées, il prit une importante décision celle de créer le



comité spécial des futurs systèmes de navigation FANS (1983).

Le comité FANS constate qu'il serait nécessaire de mettre au point des nouveaux systèmes pour s'affranchir des limites des systèmes classiques et pour permettre de développer l'ATM à l'échelle mondiale. Les futurs systèmes devaient pouvoir évoluer, de façon à répondre d'avantage aux besoins des usagers, dont le statut économique allait être directement lié à l'efficacité des systèmes.

Le comité FANS fut chargé d'étudier, et d'évaluer des nouvelles techniques, dont l'utilisation des satellites et Data Link, et de faire des recommandations en vue de développement de la navigation aérienne à l'intention de l'aviation civile pour les prochaine 25 ans.

Le comité FANS conclut que la technologie reposant sur les satellites offrait une solution viable pour remédier aux carences des systèmes classiques à base des stations sol et pour répondre aux futurs besoins de la communauté de l'aviation civile internationale.

En septembre 1991, la 10e Conférence de navigation aérienne a adopté le concept d'un futur système de navigation aérienne, élaboré par le Comité FANS 2,

Après acceptation par le Conseil de l'OACI, le concept FANS 2 est devenu le « concept de systèmes de communication, navigation et surveillance/gestion du trafic aérien (CNS/ATM) ».

## **I.2. Définition du Concept CNS/ATM**

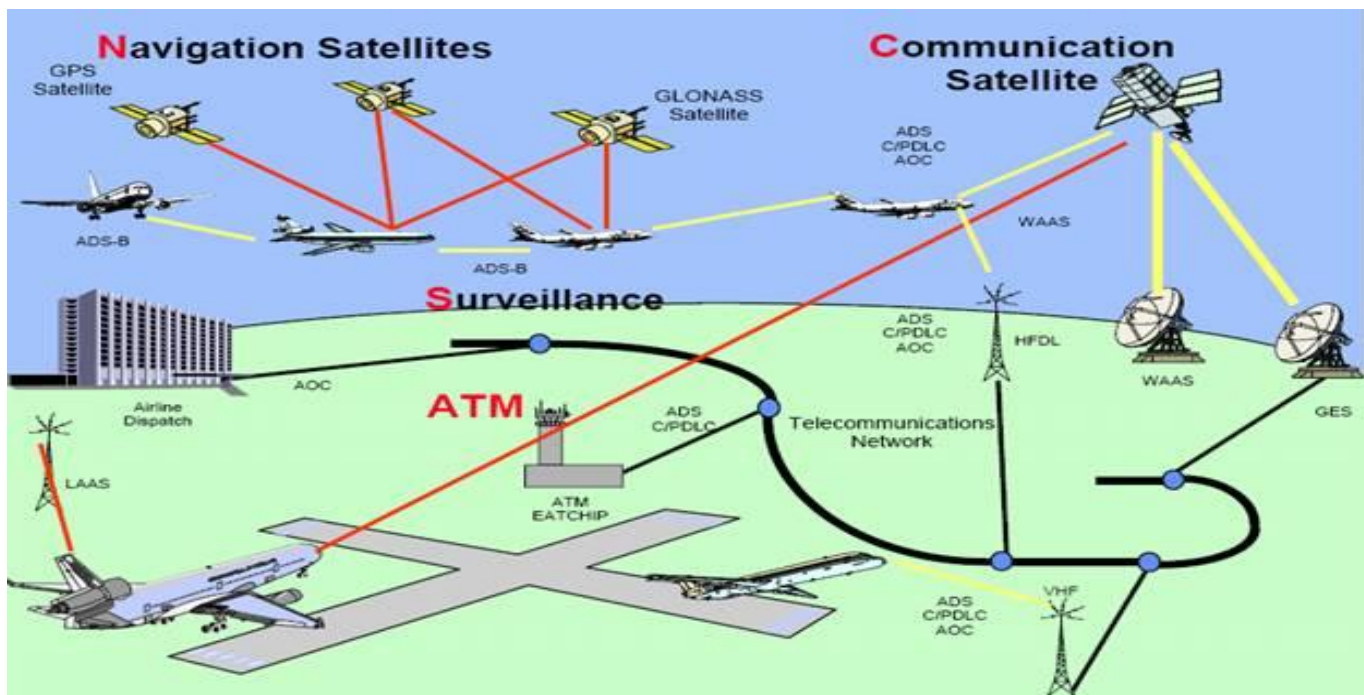
Systèmes de communication, de navigation et de surveillance faisant appel aux technologies numériques et aux systèmes satellitaires ainsi qu'à divers niveau d'automatisation est appliquées aux besoins d'un dispositif de gestion du trafic aérien mondiale homogène, voir Figure (I.1).

Le concept CNS/ATM fourni un réseau de service de navigation aérienne homogène et coordonnées a l'échelle de la planète qui permettra d'absorber la croissance mondiale du trafic aérien, tout en :

- ✓ Rehaussant le niveau de sécurité actuelle.
- ✓ Rehaussant le niveau de régularité actuelle ;

- ✓ Améliorant l'efficacité globale des opérations dans l'espace aérien et aux aéroports, de façon à accroître la capacité ;
- ✓ Augmentant les possibilités pour les usagers de suivre les horaires et les profils de vol qu'ils préfèrent.
- ✓ Réduisant au minimum les différences d'équipements de bord nécessaires entre les régions

Figure I.1: Concept CNS/ATM



### I.3. Eléments du système CNS/ATM

Les trois principaux éléments du système CNS/ATM sont:

#### I.3.1. Communication

L'élément communication de système CNS/ATM permet l'échange de données et de messages aéronautiques entre les usagers et/ou les systèmes automatisés aéronautiques. Les systèmes de communication servent aussi à appuyer certaines fonctions de navigation et de surveillance.

Les améliorations en matière de communication vocales et de communication de données. En particulier, la capacité de transmettre efficacement de grandes quantités de données avec une grande vitesse et d'intégrité, jouent un rôle important dans le cadre des projets liés à la navigation, à la surveillance et à l'ATM. Par exemple :

- ✓ Le transfert de données à grande vitesse et à intégrité élevée entre d'une part les stations de référence et principales et d'autre part, l'avionique de bord est une exigence sous-jacente,

appuyant les demandes en échange de données en vue de répondre aux besoins en matière d'intégrité du WAAS.

- ✓ Les communications contrôleur-pilote par liaison de données CPDLC Permettant d'assurer la transmission d'autorisation et de messages entre éléments air- sol ; air-air et sol-sol (autorisation pré -départ) sont en hausse.

Il y a essentiellement deux catégories de communications aéronautiques :

❖ **Les communications liées à la sécurité, qui exigent une haute intégrité et une réponse rapide**

- Communications des services de la circulation aérienne ATS entre organes ATS ou entre un organe ATS et un aéronef dans le cadre du contrôle de la circulation aérienne ATC, l'information de vol, alertes, etc...
- Communications du contrôle d'exploitation aéronautique AOC des exploitants d'aéronefs, qui concernent la sécurité, la régularité et l'efficacité des vols.

❖ **Les communications sans rapport avec la sécurité**

- Communications administratives aéronautiques AAC de membres du personnel ou d'organismes de l'aviation, qui portent sur des questions d'ordre administratif ou privé.
- Communications aéronautiques des passagers APC.

En général, les systèmes de communications CNS/ATM peuvent prendre en charge les deux catégories décrites ci-dessus. Cependant, les communications intéressant la sécurité auront toujours priorité sur celle de l'autre catégorie.

### **I.3.1.1. Type des communications**

#### **a. Communications vocales:**

Les communications vocales demeurent le moyen utilisé pour échanger l'information urgente.

L'utilisation de la radio air-sol est en hausse constante, ce qui restreint la disponibilité de la bande passante VHF.

Pour répondre aux besoins d'un plus grand nombre d'utilisateurs, l'espacement des canaux a été ramené de 100khz à 50khz ; puis à 25khz, il n'est pas encore nécessaire d'adopter l'espacement des canaux de 8,33khz qui est déjà en vigueur en Europe.

Le prochain progrès technologique en ce sens est l'avènement des radios numériques permettant de mener jusqu'à quatre (04) conversations indépendantes (quatre exploitants distincts s'adressent à autant d'aéronefs) sur la même fréquence de canal, au moyen seulement d'un canal de 25khz de largeur.

Cette fonction, similaire à la modulation du téléphone cellulaire, s'appelle technologie VDL mode 3 (VDL3).

### **b. Communication de données**

Bon nombre des changements que l'on prévoit dans le cadre de l'ATM reposeront sur des systèmes de communications qui permettront d'accéder en temps réel à l'information numérique pour les systèmes d'automatisation.

De plus, les exigences relatives à l'infrastructure des communications sont liées à l'atteinte d'objectifs de performance en matière de surveillance, tant sur le plan de la réception et de la redistribution des données radar qu'en regard des données de surveillance dépendante automatique.

L'un des problèmes les plus importants sera de pouvoir rendre de grandes quantités de données numériques accessibles simultanément à des points multiples et cela conformément à des niveaux élevés d'intégrité.

Les nouvelles exigences en données numériques découlent de l'accentuation des besoins de nos systèmes internes relativement aux affichages de l'espacement de la circulation, aux avertissements automatisés et à la prédiction des conflits.

En outre, les systèmes experts des utilisateurs externes ont besoin de certaines de ces mêmes données pour la prise de décisions stratégiques et tactiques.

Les systèmes de planification stratégique à plus long terme peuvent compter sur des réseaux du service fixe des télécommunications publiques ou privés selon les exigences relatives à la sécurité, à l'intégrité et à l'accessibilité des données.

Les exigences à court terme relatives aux données tactiques et stratégiques créent des demandes pour des systèmes de télécommunications mobiles.

Des évaluations techniques des technologies disponibles en matière de liaison de données sont toujours en cours.

Au moins neuf options différentes répondent à divers objectifs de performance. Même si une certaine uniformisation sera nécessaire dans une grande partie du trafic mixte pour que le fournisseur de service de navigation aérienne puisse en tirer avantages, la technologie que les exploitants d'aéronefs retiendront dépendra de la faisabilité économique.

### **c . Communication AIR-SOL**

La plupart des communications air-sol régulières de la phase en route du vol se font par échange des données, le plus souvent comme suit :

A l'aide d'un menu affiché sur un écran, l'utilisateur choisit le message approprié parmi un ensemble préétabli, ajoute les éléments nécessaires, puis le transmet. Certains transferts de données s'effectuent entre les systèmes automatiques embarqués et au sol sans nécessiter d'intervention manuelle, ce qui réduit considérablement le volume des communications vocales, et par conséquent la charge de travail des pilotes et des contrôleurs.

En revanche, dans les régions terminales encombrées, les communications vocales resteront probablement le moyen d'échange de prédilection. Dans les situations d'urgence et les situations autres que de routine, elles restent le principal moyen de communication air-sol utilisé.

Les messages air-sol empruntent les liaisons radio suivantes :

#### **❖ SMAS (service mobile aéronautique par satellite) :**

Les Satellites de communication géostationnaire conçus expressément pour les communications mobiles, qui offrent une couverture étendue/quasi mondiale ainsi que des canaux voix et données de grande qualité.

Le SMAS convient particulièrement aux aéronefs qui volent dans les espaces aériens océaniques et les espaces aériens continentaux éloignés.

#### **❖ VHF:**

Les radios VHF (Very High Frequency) analogiques existantes offrent une excellente fiabilité opérationnelle, elles continueront d'être utilisées pour les communications vocales dans les régions terminales encombrées ainsi que pour les communications générales autres que de routine dans les zones de couverture correspondantes.

Mais à court ou à moyen terme, il pourrait y avoir saturation de la bande VHF attribuée aux communications aéronautiques dans certaines parties du monde. Pour y faire face, des mesures ont été prises afin de réduire de 25Khz à 8.33Khz l'espacement entre les canaux, là où cela est nécessaire et d'augmenter ainsi le nombre de canaux disponibles.

De plus, on travaille actuellement à l'élaboration de normes relatives à une radio numérique à accès multiple par répartition dans le temps qui devrait permettre de résoudre à moyen terme le problème de l'encombrement de spectre des fréquences et d'améliorer les services air-sol.

#### **❖ HF :**

Les radios communications par la bande HF (High Frequency) permettent les échanges au-delà de l'horizon, mais leur fiabilité est limitée en raison principalement de la nature variable des

caractéristiques de propagation des ondes.

On prévoit que l'emploi accru du SMAS dans les régions océaniques ou éloignées entraînera une atténuation de l'encombrement de canaux HF et éventuellement, une diminution de l'emploi de la bande HF pour les communications de routine.

Mais tant qu'une nouvelle constellation de satellite utilisable en aviation et couvrant la totalité du globe n'aura pas été mise en place, la HF demeurera le seul moyen de communication disponible pour les vols dans les régions polaires.

#### ❖ **VDL mode 2 :**

Ce mode, qui a été normalisé par l'OACI, exploite des techniques radios numériques. Le débit de données nominal de 31.5 Kbit/s est compatible avec l'espacement de 25 kHz des canaux et la VDL mode 3 (voix et données intégrées).

Le plan de modulation de la VDL mode 2 est capable de prendre en charge les suites de protocoles de différentes applications opérationnelles, ce qui permet une utilisation beaucoup plus efficace du canal VHF.

#### ❖ **VDL mode 4 :**

Ce mode est fondé sur la technique dite de l'accès multiple par répartition dans le temps autogéré STDMA, qui devrait autoriser des capacités de liaison de données en navigation et en surveillance en plus de fonctions de communication de données.

#### ❖ **VHF -VDL mode I :**

Le débit de données de la VDL mode I est de 2 400 bit par seconde. Le mode 1 peut être considéré comme une étape vers le mode 2.

C'est vers la fin des années 1970 que les exploitants d'aéronefs ont commencé à utiliser la radio VHF analogique pour échanger des données. Les radios VHF de bord existantes ont servi au transfert des données AOC et AAC entre les aéronefs et leurs exploitants au moyen des stations sol et des réseaux d'interconnexion spéciaux. Le système connu sous le nom d'ACARS (système embarqué de communication d'adresse et de compte rendu) a considérablement évolué et pris de l'ampleur. Aujourd'hui, plusieurs grands transporteurs aériens l'utilisent pour leurs communications AOC et AAC ainsi que dans une mesure limitée, pour les communications ATSC non sensibles au facteur temps. L'ACARS n'a été soumis à aucun processus de normalisation OACI.

### **d . Communication SOL-SOL**

On prévoit que la plupart des communications de routine entre les usagers et les systèmes aéronautiques au sol se feront par échange de données. Telle que, les données météorologiques, les NOTAM (Notic To Air Men) etc...

Une variété de réseaux au sol mis en œuvre par des états, par des groupes d'états ou par des fournisseurs commerciaux continuera d'offrir des services de communication de données aux usagers aéronautiques.

Avec la mise en œuvre progressive de l'ATN, l'emploi du réseau du service fixe des télécommunications aéronautiques RSFTA diminuera.

Pendant la période de transition, il sera possible de relier des terminaux du RSFTA à ATN grâce à des passerelles spéciales.

Avoir le choix entre plusieurs types de systèmes de communications offre des avantages sur le plan de la mise en œuvre mais complique la planification régionale de système de navigation aérienne, surtout lorsqu'il s'agit d'harmoniser et de synchroniser des FIR voisins du point de vue des communications.

Une façon de régler ce problème consiste à abandonner la spécification de systèmes individuels et à traduire tous les besoins opérationnels pertinents propres à un espace aérien et à un scénario donnés en une série de paramètres de performance de communication.

Ainsi l'expression « performance de communication requises RCP » désigne un ensemble de critères de communication bien quantifiés à respecter (capacité, disponibilité, taux d'erreur, temps d'acheminement).

Une fois les RCP spécifiées pour un scénario opérationnel dans un espace aérien donnée, tout système de communication unique ou toute combinaison de système qui satisfait aux critères établis peut être considéré comme étant acceptable pour l'exploitation.

Donc, il y a un certain nombre de différences fondamentales entre les systèmes de communication aéronautiques classiques et les nouveaux systèmes de communications CNS/ATM.

Voici quelques-unes des principales caractéristiques propres aux nouveaux systèmes :

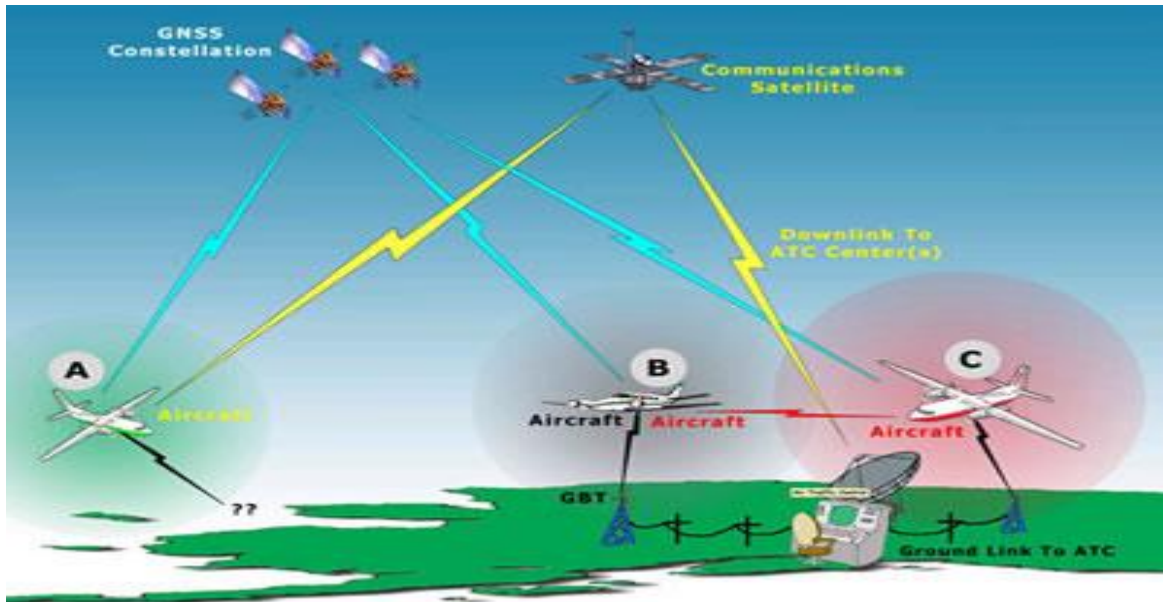
- > La plupart des communications de routine sont assurées par échange de données.
- Les communications vocales sont principalement utilisées dans les situations.
- > Autres que de routine et dans les situations d'urgence
- > L'accent est mis sur une connectivité et une exploitation mondiales.

### **I.3.2. Navigation**

La fonction navigation du concept CNS/ATM a pour objet d'assurer une capacité de déterminer avec précision, fiable et fluide de la position des aéronefs, à l'échelle mondiale. L'amélioration de la navigation comprend l'introduction progressive de la navigation de surface (RNAV) ainsi que le

système de navigation par satellite (GNSS) .voir Figure (I. 2).

Ces systèmes assurent une couverture mondiale. Ils sont utilisés pour la navigation en route et pour les approches. Avec les systèmes de renforcement appropriés et des procédures connexes, il est prévu que ces systèmes seront également en charge la plupart des approches de précision.



**Figure (I. 2): architecture de navigation par satellite (GNSS)**

### **I.3.2.1. Les systèmes de navigation par satellite (GNSS):**

Le GNSS, fournira une haute intégrité, de haute précision en toutes conditions météorologiques. La mise en œuvre du GNSS permettrait l'aéronef de naviguer dans tous les types d'espace aérien, dans n'importe quelle partie du monde, offrant la possibilité pour de nombreux États à supprimer une partie ou la totalité de leur infrastructure de navigation au sol existantes. Cependant, la suppression des aides à la navigation de radio traditionnelle devrait être considérée avec prudence et après une évaluation de la sécurité a démontré qu'un niveau acceptable de sécurité peut être satisfait.

Il existe actuellement trois (03) composantes du GNSS dans le monde :

- GLONASS.
- GALILEO.
- GPS

Le système de navigation par satellite actuellement en exploitation est le GPS (système mondiale de localisation) des Etats Unis et le GLONASS (Système mondial de satellites de navigation) de la Fédération de Russie.



Ces deux systèmes ont été présentés comme moyens pour appuyer le développement évolutif du GNSS. EN 1994, le conseil de l'OACI a accepté la proposition des Etats-Unis concernant le GPS et en 1996, il a accepté l'offre de la Fédération de Russie concernant le GLONASS.

#### **I.3.2.1. a. Système GPS**

Le système GPS se compose de trois éléments dits segments distincts :

##### **➤ Le segment spatial**

En 2011, il est constitué d'une constellation de 30 satellites. Ces satellites évoluent sur 6 plans orbitaux ayant une inclinaison d'environ  $55^\circ$  sur l'équateur. Ils suivent une orbite quasi-circulaire à une altitude de 20 000 à 20 500 km qu'ils parcourent en 11 h 58 min 2 s, soit un demi-jour sidéral. Ainsi, les satellites, vus du sol, reprennent la même position dans le ciel au bout d'un jour sidéral.

##### **➤ Le segment terrestre de contrôle**

C'est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système. Il est composé de cinq stations au sol. Leur rôle est de mettre à jour les informations transmises par les satellites (éphémérides, paramètres d'horloge) et contrôler leur bon fonctionnement.

##### **➤ L'équipement embarqué**

Il regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires qui ne font que recevoir et exploiter les informations des satellites ; de ce fait le système ne peut être saturé et le nombre maximum d'utilisateurs GPS est illimité.

#### **• Le principe de fonctionnement du GPS**

Le GPS fonctionne grâce au calcul de la distance qui sépare un récepteur GPS de plusieurs satellites. Les informations nécessaires au calcul de la position des satellites étant transmises régulièrement au récepteur, celui-ci peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées.

Les satellites GPS émettent plusieurs signaux codés, à destination civile ou militaire. Le signal civil pour l'utilisation libre correspond au code C/A, émis sur la porteuse de 1 575 MHz.

Sur cette porteuse, le signal de modulation est une séquence résultant de l'addition du code pseudo-aléatoire C/A à 1 Mbit/s et des données à 50 bit/s contenant les éphémérides des satellites et d'autres informations de navigation. C'est le code C/A qui sert dans les récepteurs par corrélation avec le signal reçu à déterminer l'instant exact d'émission de celui-ci.

Cet instant d'émission de référence du code C/A peut être modulé, à nouveau par un code pseudo-aléatoire, pour dégrader la détermination de position au sol. Le code CA (course/acquisition) contient les informations suivantes :

- La Position du satellite
- L'heure GPS (heure spécifique)
- L'information de qualité et de précision de ces données

Le récepteur calcule la distance connaissant cette heure d'envoi du signal et l'heure à laquelle il le reçoit. « Pseudo range. »

Le récepteur établit la position exacte du satellite dont il a besoin grâce à l'information de la position orbitale envoyée par le satellite , Le récepteur a besoin de 4 satellites pour élaborer une position en 3D : - longitude - latitude- altitude

Connaissant la position de l'avion, il peut ensuite calculer et présenter au pilote les valeurs de navigation telles que : Distance et relèvement vers un WP, Vitesse sol, Temps de vol, etc ....

Il vérifie en permanence, l'intégrité des signaux issus des satellites (fonction RAIM). Cette fonction nécessite au moins 5 satellites pour un GPS.

### **3.2.1.b. Système GLONASS**

Le secteur spatial du système GLONASS comporte 24 satellites opérationnels

Les satellites GLONASS évoluent à une altitude de 19 100Km et ont une durée de révolution de 11 heures 15mn.

Huit satellites sont placés à distance égale sur chacun des trois plans d'orbite ; l'inclinaison est de 64.8° et l'espacement de 120°.

### **1.3.2.2. Les renforcement**

Le GNSS est un système mondiale déterminer la position et l'heure, qui se compose d'une ou plusieurs constellations de satellites, de récepteurs embarqués et d'un contrôle de l'intégrité du système, renforcés selon les besoins afin d'appuyer la RNP pour la phase effective d'exploitation.

Pour surmonter les limites au système et répondre aux besoins en matière de performances (précision, intégrité, disponibilité et continuité de service) pour toutes les phases de vol, le GPS et le GLONASS ont besoin de divers degrés de renforcement.

Les renforcements sont classés en trois grandes catégories :

- Renforcement sur aéronef.
- Renforcement au sol.

- Renforcement sur satellites.

### I.3.2.2. a. Renforcement sur aéronef

L'un des types de systèmes de renforcement embarqué ABAS est appelé contrôle autonome de l'intégrité RAIM, il Permet à un récepteur de vérifier en permanence l'intégrité des signaux reçus de la constellation et de déterminer si un satellite fournit une information corrompue. Pour détecter une anomalie d'intégrité, il faut que le récepteur puisse voir 5 satellites au minimum. Voir (Figure I. 3).

Si l'on dispose de cinq satellites en visibilité, cinq positions indépendantes peuvent être calculées.

Si ces positions ne concordent pas, on peut en déduire qu'un ou plusieurs des satellites fournit des renseignements inexacts.

Si l'on dispose de six satellites ou plus en visibilité, on peut calculer un plus grand nombre de positions indépendantes et un récepteur peut alors être en mesure d'identifier un satellite défaillant et l'exclure des calculs pour la détermination des positions.

D'autres renforcements sur aéronef peuvent aussi être mis en œuvre on parle habituellement de contrôle autonome de l'intégrité par l'aéronef (AAIM). Par exemple, un système de navigation par inertie peut aider le GNSS durant des courtes périodes, lorsque les antennes de navigation par satellite sont masquées par l'aéronef à l'occasion des manœuvres, ou durant les périodes où le nombre des satellites en visibilité est insuffisant.

Les techniques de renforcement, particulièrement utile pour améliorer la disponibilité de la fonction navigation, comprennent aussi l'aide altimétrique, des sources d'indication de l'heure plus précises ou certaines combinaisons des données de capteur réunis à l'aide des techniques de filtrage.



Figure (I. 3) : Indicateur RAIM embarqué

### I.3.2.2. b. Renforcement au sol

Pour les systèmes de renforcement à base de stations sol (GBAS ) (on parle aussi de renforcement à couverture locale) . voir Figure (I.4) , un moniteur est placé à l'aéroport ou l'on souhaite effectuer des opérations de précision, ou à proximité.

Les signaux sont envoyés directement aux aéronefs qui se trouvent à proximité (environ 37km, soit 20NM).ces signaux fournissent des rectifications pour augmenter la précision de la position localement, ainsi que des renseignements sur l'intégrité des satellites. Cette capacité exige des liaisons de données entre surface et aéronefs.

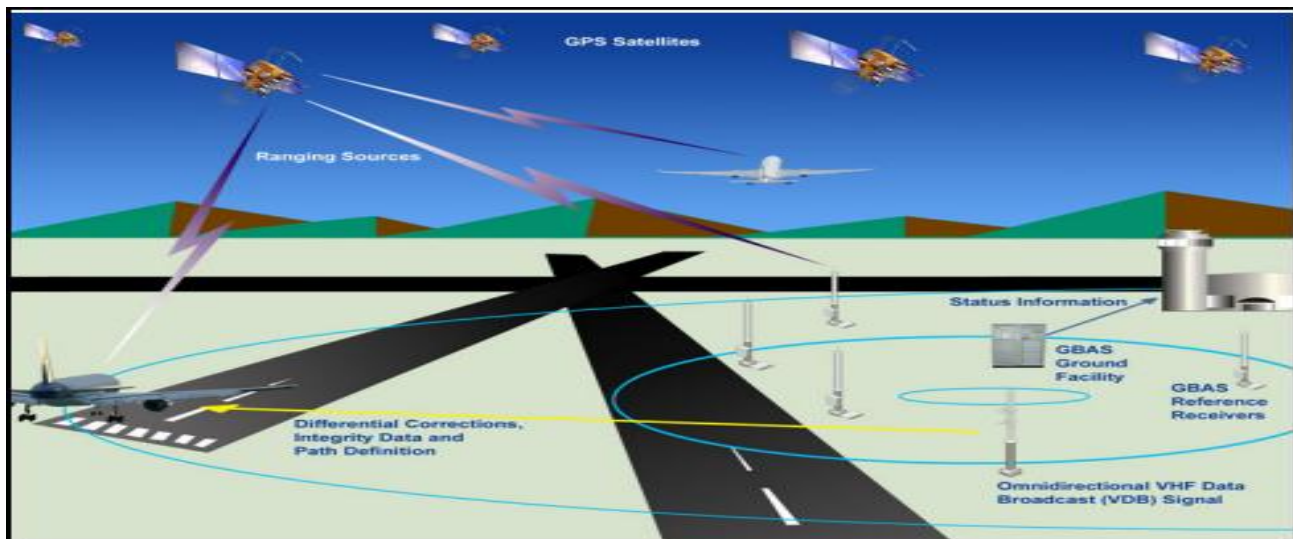


Figure (I. 4) : Architecture GBAS

### I.3.2.2. c . Renforcement sur satellites

Il n'est pas possible en pratique d'assurer une couverture à l'aide des systèmes au sol pour toutes les phases de vol. L'une des manières d'assurer une couverture de renforcement sur des vastes régions consiste à utiliser des satellites pour transmettre des renseignements de renforcement. C'est ce que l'on appelle le système de renforcement satellitaire SBAS.

Un SBAS est un système critique de sécurité conçu pour augmenter un ou plusieurs systèmes de navigation par satellite. En ce sens, il ne s'agit pas d'un système autonome ,voir Figure (I. 4) .

Les principales couches d'une architecture générale SBAS sont:

Un Segment spatial, comprenant les satellites géostationnaires (GEO) avec des charges utiles de navigation en charge de la transmission d'un signal de porteuse de type GPS avec les informations

SBAS.

Un Segment sol, comprenant tous les éléments au sol en charge de la fourniture du message de navigation SBAS. Les principaux éléments sont les suivants:

- Réseau de surveillance.
- Centre d'affinerie.
- GEO Centre de contrôle des satellites.
- Couche de communication.

Un Services de soutien, comprenant tous les éléments qui doivent soutenir le bon fonctionnement et l'entretien du SBAS telle que le contrôle de la configuration, l'évaluation des performances, la maintenance et le développement, etc....

Un Segment de l'utilisateur, comprenant tout l'équipement de l'utilisateur nécessaire pour recevoir et utiliser les informations SBAS

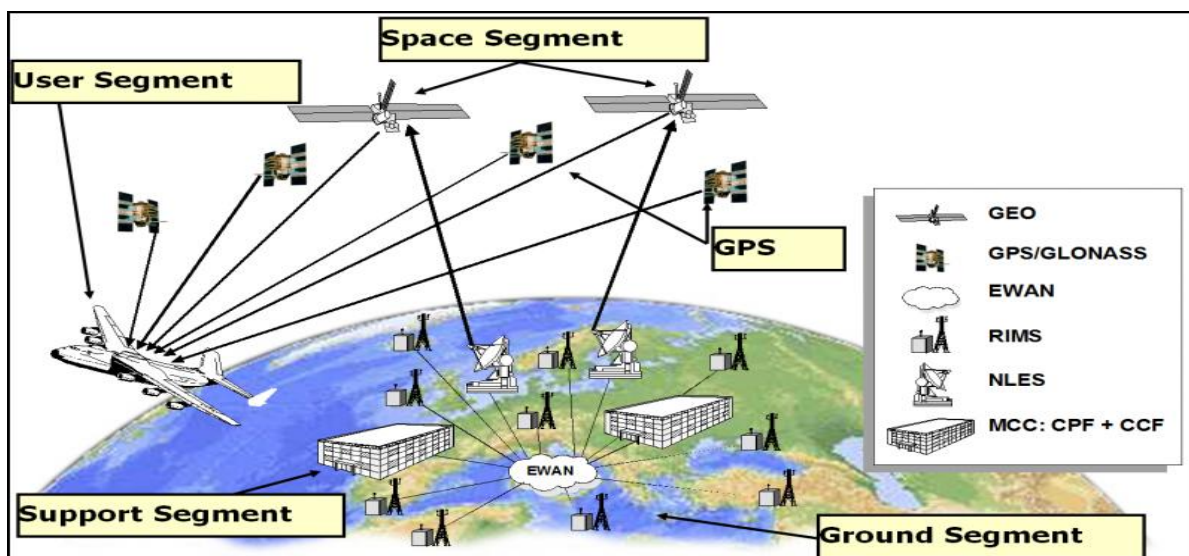


Figure (I. 5) : Architecture SBAS

### I.3.3. Surveillance

La fonction surveillance permet de visualiser ou délivrer les informations telle que la position ,la vitesse ...etc, par satellite ou par le service ATC au sol

Les systèmes de surveillance utilisés actuellement peuvent être divisés en deux types principaux :

- Les systèmes de surveillance dépendante ou la position de 1 aéronef est déterminée à

bord puis transmise à l'ATC ; les comptes rendus de position vocaux actuels sont un système de surveillance dépendante dans lequel la position de l'aéronef est déterminée à partir de l'équipement de navigation de bord puis communiqué par le pilote à l'ATC sur une liaison radio téléphonique.

- La surveillance indépendante est un système qui mesure la position de l'aéronef à partir du sol ; la surveillance actuelle est basée sur les comptes rendus de position vocaux ou sur le radar ( PSR ou SSR mode-S ) qui mesure la distance et l'azimut de l'aéronef depuis la station au sol.

### **I.3.3.1. Les moyennes de surveillance**

#### **I.3.3.1.1. Radar primaire de surveillance PSR**

Le système PSR au sol donne des informations sur le relèvement et la distance de l'aéronef. Il ne requiert aucun emport d'équipement par l'aéronef et peut détecter presque n'importe quelle cible en mouvement. L'utilisation croissante de systèmes de surveillance plus perfectionnés aura pour effet de réduire l'emploi du PSR dans la gestion du trafic aérien en route, quoiqu'il continue à être utilisé en TMA.

Les radars primaires sont actuellement employés pour la détection des mouvements à la surface et des phénomènes météorologiques.

Les radars d'approche de précision PAR sont des radars primaires utilisés pour les approches effectuées selon des procédures précises, l'emploi des PAR dans les applications civiles diminue toutefois rapidement.

#### **I.3.3.1.2. Radar secondaire de surveillance SSR**

Le SSR interroge le transpondeur installé à bord de l'aéronef.

En mode A, le transpondeur fournit des informations d'identification ainsi que le relèvement et la distance de l'aéronef, il demande l'indicatif de l'appareil mais requiert une information d'altitude. Cette donnée est mesurée dans l'avion, transmise au radar, puis visualisée sur l'écran du contrôleur. En mode C il indique l'altitude pression.

Le mode S est encore une évolution du radar secondaire. Le nombre de codes disponibles en mode A et C est limité (4096 codes seulement) et devient insuffisant pour les besoins actuels. Le mode S permet donc une véritable liaison de données. En plus du code attribué par un contrôleur et de l'altitude donnée, l'immatriculation ou l'indicatif de l'avion est transmis. N'importe quelle donnée peut être transmise, aussi bien de l'avion vers le sol que du sol vers l'avion. Les applications sont nombreuses. Le SSR mode S est l'outil de surveillance approprié dans les régions à forte densité de circulation. L'interconnexion des stations sol en groupes permet d'obtenir un système de surveillance et de communication plus performant.

### **I.3.3.1.3. Surveillance dépendante automatique ADS**

La mise en œuvre de liaisons de données air-sol et de systèmes de navigation embarqués précis et fiables offre la possibilité d'assurer des services de surveillance dans les régions qui en sont dépourvues, En particulier, dans les régions océaniques et dans d'autres régions où il est difficile, peu économique ou carrément impossible de mettre en œuvre les systèmes actuels.

L'ADS est une application destinée aux services ATS où les aéronefs transmettent automatiquement sur une liaison de données ; des données obtenues à l'aide des systèmes embarqués de navigation.

Ces données comprennent au minimum la position de l'aéronef en quatre dimensions, ainsi que des données complémentaires, le cas échéant.

Les systèmes ATC automatique utiliserait les données ADS pour l'information à l'écran du contrôleur. En plus de fournir des données de position dans les régions dépourvues de couverture radar, l'ADS sera utile dans d'autres régions, notamment les régions à forte densité de circulation, où elle peut compléter le radar secondaire de surveillance ou le remplacer en cas de panne.

Pour tirer pleinement partie de l'ADS, il faudra disposer de communications voix et données bidirectionnels pilote-contrôleur (les communications vocales doivent être disponibles au moins pour les messages d'urgence et les communications extraordinaires).

#### **a. ADS en mode diffusion ADS-B**

L'ADS-B ( *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*) qu'on peut traduire par « Surveillance Automatique Dépendante par Diffusion » est une extension de la technique ADS permettant de diffuser des données de position à plusieurs aéronefs ou organes ATM. Les aéronefs et les véhicules au sol munis de ADS-B diffusent périodiquement leur position et d'autres données pertinentes tirées de l'équipement de bord. Tout secteur usager, à bord ou au sol, situé dans la zone de couverture de l'émetteur peut traiter l'information.

L'ADS-B est considéré comme le successeur du radar par l'administration aéronautique américaine (FAA). Il utilise le positionnement apporté par le système GPS pour déterminer et partager des informations précises concernant la position et les caractéristiques de vol d'un avion, en diffusant ces informations aux avions environnants équipés du même système de manière automatique entre eux et aux stations au sol. A bord, le système ADS-B transmet les informations : type et identification de l'appareil, position, cap, vitesses horizontale et verticale, trajectoire. Accompagné d'un GPS à cartographie, cet instrument permet aux pilotes de visualiser les avions qui les entourent et d'être vus par eux, ainsi que par les écrans des stations de contrôle au sol, En plus des données de position et de navigation classiques, l'ADS-B peut également fournir des informations de trafic et dans certaines limites, des conditions météorologiques dangereuses à éviter.

L'ADS-B étant non crypté, n'importe qui pourra suivre le trafic aérien avec un simple récepteur ADS-B, ce qui peut poser des problèmes de sécurité. De plus, un avion piraté qui connaît le trafic environnant pourrait être dirigé vers un autre avion en plein vol. Ce risque nouveau est, on s'en doute, l'objet de débats aux OACI.

La mise en œuvre de ADS-B exige :

- a) L'horodatage des messages exact à une seconde près par rapport au temps universel coordonné ATC.
- b) Une liaison de données air-sol.
- c) Une infrastructure au sol pour communiquer les informations à l'ATC.
- d) Des procédures appropriées des services de la circulation aérienne.

Il existe trois medium de communication ADS-B disponibles :

**A/ Mode S 1090 ES (Extended Squitter)** : la portée dans l'application AIR-SOL est entre [100NM-120NM] émission toutes les secondes d'un Squitter par le transpondeur contenant des informations de contrôle mode S.

Ce type de média est normalisé par l'OACI.

**B/ La VDL mode 4** : C'est un système de communication en VHF, le principe consiste à diviser le temps de communication d'une fréquence en multitude de slots.

Pour cela deux fréquences sont nécessaires. La portée varie entre [140NM-200NM]

Ce type de média est normalisé par l'OACI.

**C/ L'universal Access Transceiver (UAT)** : le principe est d'émettre chaque seconde une structure de données dont 20% est réservée à la gestion interne des stations sol. Le reste étant réservé à la transmission des messages ADS-B.

Ce type de média n'est pas normalisé par l'OACI.





Figure (I. 6) : Affichage du trafic sur un écran ND

#### I.3.3.1.4. Système Anticollision Embarqué (TCAS : Traffic Collision Avoidance System)

LE TCAS en français, « système d'alerte de trafic et d'évitement de collision » est un instrument de bord d'avion destiné à éviter les collisions en vol entre aéronefs.

LE TCAS I émet des renseignements pour faciliter le déclenchement de mesures conformes au principe « voir et éviter », mais ne possède pas la capacité d'émettre des avis de résolution RA.

LE TCAS II transmet des avis de résolution RA dans le plan vertical au pilote. Lorsque les deux aéronefs qui se rencontrent sont équipés de l'ACAS, les manœuvres peuvent être coordonnées automatiquement (liaison inter - ACAS).

Le TCAS signale au pilote tout autre avion équipé d'un TCAS (ou d'un transpondeur en Mode C) dès qu'il est, selon les réglages effectués au préalable par le pilote, à une distance variant de moins de 2,5 à moins de 30 milles.

En cas de collision potentielle, une alerte auditive est émise par le « Traffic Advisory » (TA). Ce dernier informe le pilote qu'un autre avion se trouve à proximité, en annonçant vocalement "*traffic, traffic*", mais ne suggère pas de manœuvre d'évitement.

Néanmoins, si la situation s'aggrave et que la collision semble imminente, un message audio et une alerte visuelle sont produits par le « Résolution Advisory » (RA), indiquant l'avion concerné et signalant l'action à effectuer par le pilote, à savoir de maintenir la trajectoire actuelle, monter, descendre ou encore surveiller la vitesse verticale. Le système est conçu pour que le TCAS de l'autre avion conseille une autre manœuvre (ex : l'un monte et l'autre descend, il serait absurde que les deux avions s'évitent en montant tous deux). Bien souvent, le TCAS indique à un avion de monter et à l'autre de descendre, ce qui augmente considérablement la distance entre les deux appareils.

Quand l'alerte est terminée, le système annonce "*clear of conflict*" (plus de conflit).

Le TCAS est un système interrogatif, qui questionne les avions proches sur la fréquence 1030 MHz. L'avion répond ensuite sur la fréquence 1090 MHz

### **I.3.3.2. Performances de Surveillance Requises RSP**

L'émergence de plusieurs types de systèmes et de procédures de surveillance pour appuyer les fonctions ATM ; en plus des moyens de surveillance existant, fait craindre que le système de navigation aérienne actuel ne devienne trop complexe.

Il est vrai que l'idéal serait de n'avoir qu'un seul système capable de répondre à tous les besoins de surveillance pour toutes les phases de vol dans tous les types d'espace aérien.

Du point de vue coût-efficacité, cependant, il est nécessaire d'avoir des systèmes de surveillance de caractéristiques et de capacités différentes pour faire face à des conditions de trafic qui varient considérablement d'une région à faible densité de circulation à une région terminale à forte densité de circulation. Jusqu'à ce qu'il y ait un système de surveillance capable de répondre à tout les besoins, la communauté aéronautique se doit d'examiner toutes les possibilités.

Même si la diversité des options de surveillance assouplit le processus de planification, elle complique l'harmonisation des fonctions de surveillance, une manière de faciliter la planification serait de traduire tous les besoins opérationnels pertinents en une série de paramètres de performance de surveillance.

L'expression « performances de surveillance requises RSP » désigne donc un ensemble de paramètres de performance (de surveillance bien quantifiés comme la capacité, la disponibilité, la précision, la cadence d'actualisation, etc... une fois les RSP définies pour un scénario opérationnel dans un espace aérien donné, tout système ou toute combinaison de système de surveillance qui satisfait aux paramètres fixés peut être jugé opérationnellement acceptable.

### **I.4. Tendances futures**

Les enjeux sont purement économiques avant tout. Le transport aérien est en pleine expansion malgré les freins conjoncturels qui peuvent apparaître. Chaque acteur de l'aéronautique cherche l'amélioration des services du contrôle : sécurité, capacité, rapidité et flexibilité...

Pour le contrôleur, sa principale préoccupation est de détecter les conflits, faciliter les communications par des liaisons fiables « air-sol » grâce à des échanges de données

De nombreuses techniques utilisant des échanges de données numériques de surveillance sont à l'étude voire déjà en service : Datalink, Mode S, ADS-B, ACARS, etc...

L'évolution et les besoins de surveillance dans le domaine aéronautique impose d'autres recherches tout en tenant compte du côté économique, sécurité, flexibilités et fiabilité.

L'ADS-B pourrait être utilisée comme complément du MSSR ou MODE S (couverture

complémentaire) ou même le remplacer dans les régions à densité de circulation faible à moyenne. Si les aéronefs sont convenablement équipés, les données fournies par LADS-B peuvent également servir de base à l'affichage d'informations de trafic dans le poste de pilotage et il est prévu d'incorporer cette fonction à l'ACAS III.

Les systèmes de surveillance en vol pourraient même offrir, en plus de l'évitement des abordages, des fonctionnalités comme la conscience de la situation et l'assurance de la séparation. On étudie actuellement les possibilités de la surveillance en vol tout en veillant à maintenir l'intégrité de la fonction d'évitement des abordages.

Au 31 Décembre 2015, quelque 20 000 aéronefs étaient équipés de transpondeurs mode S et 10 000 étaient aussi munis de TCAS. Le nombre d'aéronefs ainsi équipés devrait augmenter par suite de l'obligation mondiale d'emporter le TCAS et les transpondeurs SSR signalant l'altitude - pression.

### **I.5. Les avantages des nouveaux systèmes CNS/A TM**

Les systèmes CNS/ATM améliore le traitement et la transmission de l'information, étendent la surveillance grâce à l'ADS et accroîtront la précision de la navigation.

Cela se traduira notamment par des réductions de la séparation des aéronefs et en conséquence, par une augmentation de la capacité de l'espace aérien. L'arrivée de système CNS/ATM avancés s'accompagnera d'améliorer et renforcer la sécurité, restructurer l'espace aérien en fonction du débit de la circulation aérienne et non des frontières nationales, intégrer l'architecture de gestion de la circulation aérienne selon l'offre et la demande, ainsi mise en œuvre des systèmes sol informatisés pour faire face à la croissance du trafic ces systèmes sol échangeront les données directement avec les FMS au moyen de liaison de données. Le prestataire des services ATM et l'utilisateur de l'espace aérien en bénéficieront tous les deux puisque cela permettra d'améliorer la détection et la résolution des conflits grâce à un traitement intelligent, de produire et d'envoyer automatiquement des autorisations de vol.

Le dispositif ATM sera ainsi mieux en mesure de respecter les profils de vol privilégiés de l'utilisateur, accroître la capacité et améliorer l'efficacité du système de gestion de la circulation aérienne, ce qui contribuera à réduire les coûts des exploitants d'aéronefs ainsi que les retards.

#### **I.5.1. Avantages pour les compagnies aériennes:**

Augmenter la sécurité de la navigation aérienne grâce à l'exploitation des données de vol élaborées à bord de l'avion, amélioration des fonctions d'alertes et outils d'aides automatisées au contrôle (corrélation de données dans le cas d'un environnement multi surveillance, des communications rapides et fiables entre les éléments sol et les éléments embarqués.

Les systèmes de navigation plus précis et plus fiables permettront en outre aux aéronefs de naviguer dans tous les types d'espace aérien et de voler plus près les uns des autres.

**I.5.2. Avantages pour les Etats qui fournissent l'infrastructure de navigation aérienne:**

Pour ce qui est des Etats qui fournissent et assurent le fonctionnement d'importantes infrastructures au sol, on escompte une réduction des frais de fonctionnement et d'entretien des installations, à mesure que les systèmes sol traditionnels deviendront dépassées et feront de plus en plus place à la technologie des satellites.

Ces Etats bénéficieront en outre de l'amélioration de la sécurité.

Le CNS/ATM fournit aux Etats en développement une occasion tout à fait opportune de renforcer leur infrastructure de façon à faire face au surcroît de trafic moyennant un investissement minimal. Nombre de ces Etats disposent d'un vaste espace aérien qui n'est pas utilisable, surtout à cause des dépenses que représentent l'achat, le fonctionnement et l'entretien des infrastructures au sol nécessaires.

Les systèmes CNS/ATM leur apporteront la possibilité de moderniser leurs infrastructures à moindres frais, y compris pour les approches classiques et pour les approches de précision.

**I.6. Evolution du concept CNS/ATM**

Le (tableau.I.1) présente l'évolution du concept CNS / ATM jusqu'à l'année 2020 comme il à mentionné l'organisation international de l'aviation civile (OACI).

| Elément | 2013     | 2020   | Impact Opérationnel                |
|---------|----------|--------|------------------------------------|
| Route   | 2D, RNAV | 3D, 4D | La plupart des avions volent en 4D |

|                       |                                                                                          |                                                           |                                                                         |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Communications</b> | Data- Link pour les informations de routine et VHF pour toutes les autres communications | Data- Link pour toutes les données                        | récupération automatique des données                                    |
| <b>Navigation</b>     | VOR/DME/ILS avec WAAS/LAAS CAT 1                                                         | WAAS/LAAS CAT III<br>Avec VOR/DME                         | Étendre l'utilisation du satellite                                      |
| <b>Surveillance</b>   | RADAR /<br>ADS-B Limité                                                                  | RADAR /ADS-B                                              | La fusion des données                                                   |
| <b>Avionique</b>      | RVSM, FMS<br>CDTI limité<br>LNAV/VNAV                                                    | WAAS/LAAS, EVS,<br>CDTI,<br>VNAV/LNAV avec<br>RTA         | Rendre les opérations IFR comme VFR                                     |
| <b>Floot</b>          | Des nouvelle avions(B7XX, A380, RJ), les petits avions d'affaires                        | UAVs                                                      | Soutenir l'évolution démographique future et projections de la demande  |
| <b>opérations</b>     | Hub/spoke,                                                                               | Hub/spoke,<br>spoke/spoke,                                | L'exploitation parfait des aéronefs                                     |
| <b>services</b>       | TMC, controllers                                                                         | Les planificateurs stratégiques,<br>Contrôleurs tactiques | Le recours à l'automatisation pour la planification stratégique précise |

Tableau(I.1) : l'évolution du concept CNS / ATM

## **I.7. Conclusion:**

Compte tenu des documents présentés et des discussions subséquentes sur les coûts et les avantages des systèmes CNS/ATM, les participants de la 10<sup>ème</sup> conférence OACI ont conclu que les systèmes CNS/ATM sont hautement rentables pour les utilisateurs, et par conséquent, même si souvent ils ne le sont pas pour les fournisseurs, ils sont rentables pour les fournisseurs et pour les utilisateurs considérés ensemble.

## **II.1. Introduction**

Pour faire face à l'évolution rapide du trafic aérien et la demande rapide et croissante de données, une vision futuriste n'est certes pas encore une réalité opérationnelle mais fait l'objet de nombreuses études. Quelques systèmes fonctionnant déjà et d'autre sont en projet ou en cours de mis en œuvre.

Dans le but de développer ce sujet, on présentera dans le deuxième chapitre une introduction sur la surveillance en termes de normes, classification et l'évolution Chronologique de ces systèmes

## **II.2. Généralités sur la surveillance**

### **II.2.1. Définition**

La surveillance est une technique de détection instantanée des cibles et la détermination de leur position (si possible l'acquisition des informations supplémentaires reliés à ces cibles) et la livraison de ces informations dans le but d'un contrôle de trafic aérien sécurisé.

### **II.2.2. Les besoins**

- La position des avions à un instant donné et leur intention.
- L'aptitude de contrôler les trajectoires des avions via les instructions données aux pilotes

### II.2.3. Les cibles

- Les avions
- Les véhicules au sol

### II.2.4. Les informations recherchés reliés à l'avion

- L'adresse Mode S
- Call signe
- Le numéro de vol
- Les paramètres de vol :
  - ✓ Le cap
  - ✓ La vitesse horizontale (au sol, en air)
  - ✓ La vitesse verticale

### II.2.5. La classification de la surveillance

#### Selon le type d'exploitation

On distingue deux types d'exploitations fonctionnellement très différentes : la surveillance non coopérative et coopérative.

❖ **La surveillance indépendante** : la position est calculé par le récepteur au sol .elle est indépendante de celle calculé à bord, fournie par l'avion. On distingue :

- ✓ **La surveillance non coopérative** : elle est assurée sans intervention de la cible à sa

détection. C'est la propriété de la réflexion d'une onde électromagnétique sur la surface physique de

la cible. La détection se fait par reconnaissance de la présence d'un signal réfléchi, la mesure de distance par mesure du temps de propagation radar – cible – radar. La mesure d'azimut

par utilisation d'une antenne directive tournante.

- ✓ **La surveillance coopérative** : elle est assurée grâce à la participation active de la

cible à sa détection. La cible est équipée d'un répondeur (ou transpondeur). Ce transpondeur reçoit

des interrogations du radar et répond. Les mesures de distance et d'azimut utilisent les mêmes principes qu'en radar primaire. L'originalité de l'exploitation coopérative est que le signal reçu est

renseigné en identification ou altitude en fonction de l'interrogation du radar. Les équipements correspondants sont caractérisés comme « radars secondaires ».

- ❖ **La surveillance dépendante** : la cible informe la station au sol ou les cibles qui les entourent de sa position calculé à bord.

### Selon la fonction

- ✓ Les systèmes au sol pour la surveillance aérienne (PSR, SSR...)
- ✓ Les systèmes au sol pour la surveillance de surface des aéroports (A\_SMGCS...)
- ✓ Les systèmes de surveillance embarqués (TCAS...)

## II.3. Les moyens de surveillance

### II.3.1. Radar primaire

Le radar primaire utilise le principe de la réflexion des ondes électromagnétiques. La station mesure l'écart de temps entre l'émission de l'impulsion et la réception de l'onde réfléchie sur la cible pour en déduire la distance de celle-ci. La position de la cible est déterminée en mesurant l'azimut de l'antenne à l'instant de la réception.

Les réflexions se produisent sur les cibles (les avions), mais aussi sur des objets fixes (immeubles) ou mobiles non désirés, ce qui tend à créer des parasites. La fonction "traitement" du radar est chargée de l'élimination de ceux-ci.

Les avantages du radar primaire sont :



- Aucun équipement embarqué n'est nécessaire pour la détection de la cible, ce qui permet la détection des cibles non-coopératives
- Il peut être utilisé pour la surveillance au sol

Les inconvénients du radar primaire sont :

- Les cibles ne peuvent pas être identifiées
- L'altitude des cibles ne peut être déterminée
- Il nécessite des émissions puissantes, ce qui tend à limiter la portée

### II.3.2. Radar secondaire

Le système de surveillance radar secondaire (SSR) est composé de deux éléments :

Une station sol interrogatrice et un transpondeur embarqué dans l'avion. Le transpondeur répond aux interrogations de la station, la renseignant sur sa distance et son azimut.

Le SSR se développa avec l'utilisation du Mode A/C puis du Mode S pour l'aviation civile.

Les transpondeurs Mode A/C fournissent l'identification (code Mode A) et l'altitude (code Mode C) de l'avion en réponse aux interrogations. Par conséquent, la station connaît la position (en trois dimensions) et l'identité des cibles.

Le Mode S est une amélioration du Mode A/C. Il en contient toutes les fonctions, mais permet également une interrogation sélective des cibles grâce à l'utilisation d'une adresse unique codée sur 24 bits, ainsi qu'une liaison de données bidirectionnelle permettant l'échange d'informations air/sol.

Les avantages du SSR sont :

- La détermination de l'identité et de l'altitude, en plus de la distance et de l'azimut.
- Il est beaucoup moins sujet aux parasites que le radar primaire.
- Sa portée est beaucoup plus importante que celle du radar primaire, étant donné que l'interrogation et la réponse n'ont que la distance aller à parcourir.
- Le Mode S introduit l'avantage de liaison de données air/sol.

Les inconvénients du SSR sont :

- Il ne convient pas à la surveillance au sol, à cause de la perte de précision introduite par le délai de traitement du transpondeur.
- Les systèmes mode A/C connaissent de nombreux problèmes d'enchevêtrement des réponses et de réception de réponses non-sollicitées. Le Mode S résout ces problèmes en interrogeant sélectivement les cibles.
- 

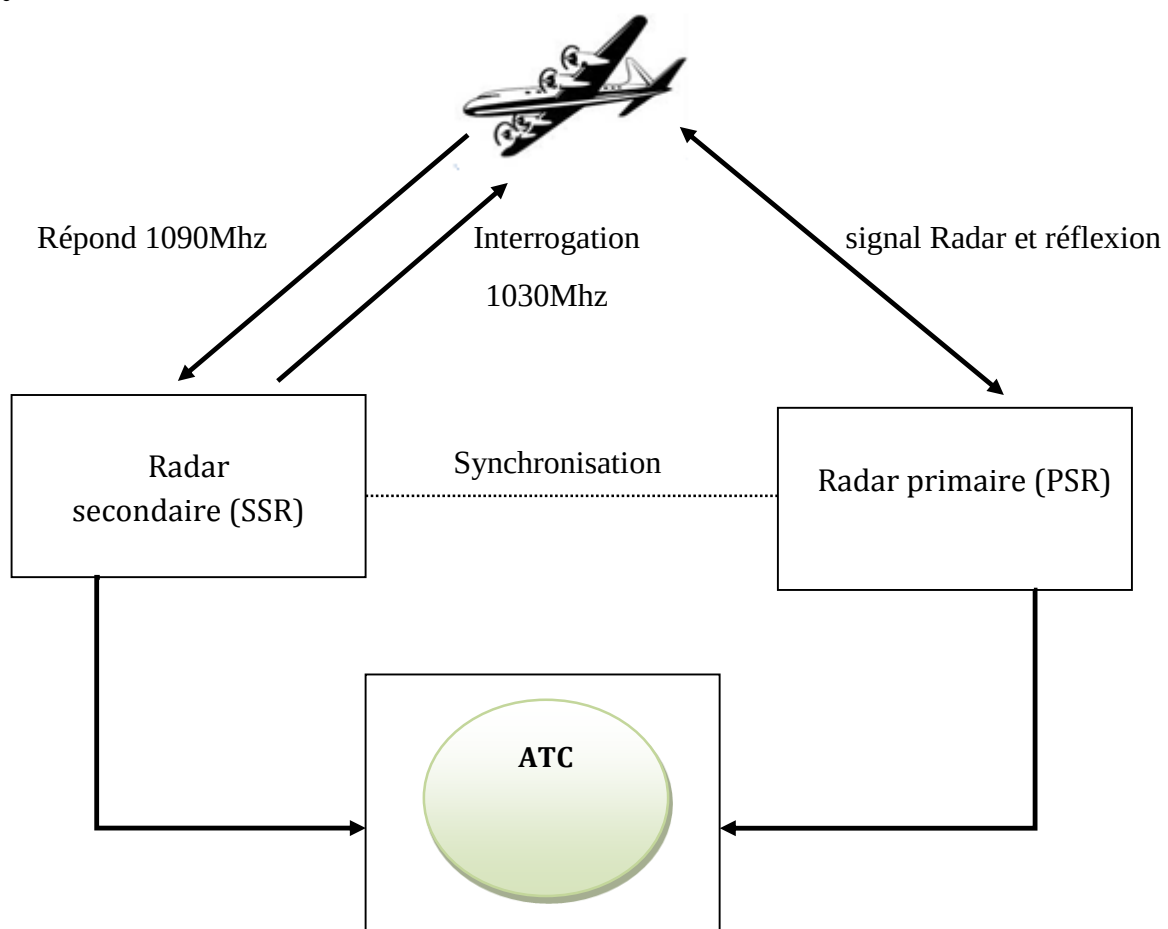


Figure II.1 : La Synchronisation du Radar PSR et SSR

### II.3.3. Automatic Dependant Surveillance - Contract (ADC-C )

Avec l'ADS-C (Automatic Dependant Surveillance - Contract), l'avion utilise ses systèmes de navigation satellitaires ou inertiels pour déterminer et transmettre au centre responsable leur position et d'autres informations.

Les informations transmises via l'ADS-C peuvent être :

- la position de l'avion ;
- sa route prévue ;
- sa vitesse (sol ou air) ;
- des données météorologiques (direction et vitesse du vent, température...).

Les informations de l'ADS-C sont transmises via des communications point à point, par VHF ou par satellite. Les systèmes sol et embarqués négocient les conditions suivant lesquelles ces transmissions s'effectuent (périodiques, sur événement, à la demande, ou sur urgence).

L'ADS-C est typiquement utilisé dans les zones désertiques ou océaniques où il n'y a pas de couverture radar.

Les avantages de l'ADS-C sont :

- l'utilisation pour la surveillance des zones sans couverture radar ;
- la transmission de l'information route « prévue » ;
- la liaison de données air/sol (comme pour le Mode S et l'ADS-B).

Les inconvénients de l'ADS-C sont :

- il dépend entièrement de l'avion et de la véracité des données qu'il transmet.

#### **II.3.4. Automatic Dependant Surveillance - Broadcast (ADC-B)**

Avec l'ADS-B (Automatic Dependant Surveillance - Broadcast), l'avion utilise ses systèmes de navigation satellitaires ou inertiels pour automatiquement déterminer et diffuser sa position et d'autres informations (vitesse, indicatif de vol...).

La position et la vitesse sont chacune transmises toutes les dix secondes en route et toutes les secondes en approche.

Les messages ADS-B (*squitters*) sont diffusés, par opposition à l'ADS-C qui utilise un protocole de communication point à point. Par conséquent, l'ADS-B est utilisé non seulement pour l'ATC, mais également pour des applications de surveillance embarquées. Voir (Figure II.2)

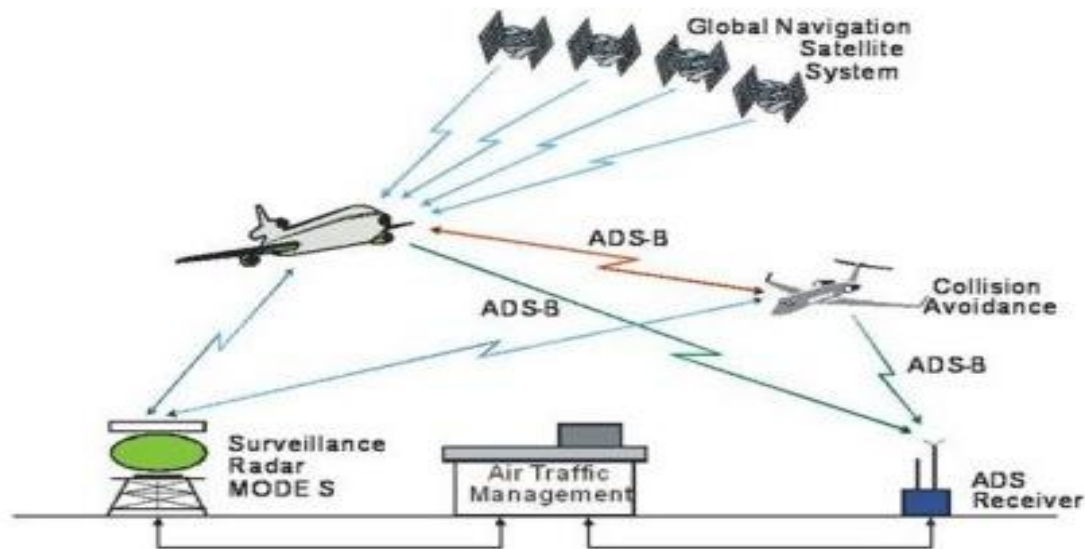
Les avantages de l'ADS-B :

Un des avantages de l'ADS-B est que, puisque les avions émettent régulièrement leur position de manière omnidirectionnelle, il n'y a plus besoin de radar.

- L'utilisation pour l'ATC et pour des applications de surveillance embarquées.
- Le taux de rafraichissement élevé.
- La liaison de données air/sol (comme pour le Mode S et l'ADS-C).

Les inconvénients de l'ADS-B sont :

- Il dépend entièrement de l'avion et de la véracité des données qu'il transmet.
- Le tiers des avions survolant l'Europe ne sont pas équipés pour l'ADS-B et donc non détectés.



**Figure II.2 : Schéma de principe de l'ADS-B**

« L'avion obtenir l'information de position du GNNS, le système ADS-B diffuse simultanément la position de l'avion à un autre aéronef, et à la station au sol »

## **II.4. Systèmes de poursuite**

Un système de contrôle automatisé du trafic aérien doit prendre en compte les données fournies par un certain nombre de capteurs de surveillance. En entrée de la poursuite, à chaque avion correspond autant de pistes qu'il y a de capteurs, et en sortie une seule. Le rôle du système de poursuite est donc de traiter et d'unifier l'ensemble de ces données, pour transmettre une information fiable au système de visualisation.

### **II.4.1 Système à mosaïques**

Dans les systèmes à mosaïque, l'espace aérien est divisé en cellules. Pour chacune de celles-ci, un capteur préférentiel est prédéterminé. Le système reçoit les données de tous les capteurs, et choisit l'information appropriée à la cellule dans lequel l'avion est détecté.

### II.4.2. Système de fusion multi-pistes

Un système de fusion multi-pistes reçoit les données de tous les capteurs, appliquant à chacune une pondération. Cette pondération dépend de la précision de chaque capteur dans la zone considérée.

### II.4.3. Système de fusion multi-plots

Un système de fusion multi-plots reçoit les plots de tous les capteurs pour établir en permanence la position de l'avion la plus précise possible. Il génère ensuite une piste basée sur les plots lissés successifs.

Les systèmes de fusion multi-plots sont en général les plus performants, mais aussi les plus compliqués : ils doivent prendre en compte les caractéristiques des différents capteurs, et gérer le fait que les plots arrivent de manière asynchrone.

### II.4.4. ARTAS

L'ARTAS (ATM surveillance Tracker And Server) est un système européen combinant poursuite et serveur de pistes. Les centres de contrôle souscrivent à un serveur ARTAS pour une zone donnée, pour recevoir les données de surveillance sur cette zone. Les informations comme le plan de vol peuvent également être envoyées.

Le développement d'ARTAS, mené par [Eurocontrol](#), fut confié à la société [Thales](#). C'est maintenant [COMSOFT](#) qui se charge de sa maintenance. Ce système a pour vocation de devenir le standard européen en la matière.

## II.5. Corrélation

La corrélation est un mécanisme fondamental du système de contrôle. Elle établit un lien biunivoque entre une piste radar (en sortie de la poursuite) et un plan de vol si :

- l'adresse mode S de la piste radar (située dans un domaine précis) est identique à l'adresse mode S pour un segment précis du plan de vol (situé dans le même domaine). Ceci n'est possible que si l'avion, le radar, la poursuite et la corrélation sont équipés mode S.

- le code mode A de la piste radar (située dans un domaine précis) est identique au code mode A pour un segment précis du plan de vol (situé dans le même domaine).

Dans les deux cas de corrélation, on peut remarquer que le postulat d'unicité du code mode A ou de l'adresse mode S n'est jamais établi. C'est la raison pour laquelle le service de corrélation se limite toujours à une zone précise.

Sur le sous-système de visualisation, la corrélation se traduit par l'association à chaque piste radar de ses informations du plan de vol : prochaines balises, altitude prévue, etc.

## II.6. Système de visualisation

Le système de visualisation présente aussi fidèlement que possible la situation aérienne à l'utilisateur final. La présentation de l'information concernant un avion donné répond à des règles strictes, et contiennent les éléments suivants :

- un symbole de position actuelle,
- un vecteur vitesse, orienté suivant le cap et de longueur proportionnelle à la vitesse sol,
- une étiquette présentant des informations sur l'avion (Mode A, Mode C, indicatif de vol, vitesse sol, informations du plan de vol, etc.)

## II.7. Service de surveillance sol

La circulation des avions au sol est loin d'être sans dangers, comme l'attestent de nombreux accidents comme celui de l'avion d'Air Algérie à l'aéroport d'Alger (14 juillet 2014). Les risques augmentent lorsque la visibilité se dégrade et le trafic se densifie. L'augmentation de la capacité d'un [aéroport](#) passe donc par la mise en œuvre d'un système automatisé de surveillance, contrôle, routage et guidage des avions au sol : l'A-SMGCS (Advanced Surface Movement Guidance and Control System).

Ce système reçoit les informations de tous les capteurs disponibles (le plus souvent radar primaire de surface, multilatération, ADS-B et radar mode S), les traite avec son module de fusion, avant de les afficher sur un système de visualisation dédié. Il possède aussi des fonctions

d'alerte de proximité (*contrôle*) et d'optimisation des trajectoires des avions (*guidage* et *routage*).

Le système doit également détecter les autres véhicules circulant sur les pistes ; ils sont équipés pour cela des balises spécifiques.

## II.8. l'application de la surveillance en Algérie

L'ENNA (Etablissement National de la Navigation Aérienne) est l'organisme public du control Aérien au-dessus de tout le territoire Algérien, il doit gérer un nombre croissant de vols, la majorité des avions qui relient l'Europe à l'Afrique survolent avec escale en Algérie.



La surveillance en Algérie est basée sur les comptes rendus de position vocaux, ou sur le radar primaire (PSR) et secondaire (SSR).

Pour cela l'ENNA a réalisé un vaste programme de modernisation de ses moyens et systèmes de traitement automatique à l'usage des services du trafic aérien. Ce programme nommé TRAFCA ( Traitement Automatique de Fonctions de la Circulation Aérienne) a entre autres pour objectif de mettre en œuvre un système de visualisation en temps réels des mouvements aériens. A cet effet, il a été réalisé pour la partie surveillance, l'installation de cinq radars , un radar primaire PSR Co-implanté avec un radar secondaire à Alger, et quatre (04) radars secondaires SSR répartis dans les régions principales du pays, Annaba, Oran, el oued et El bayadh (voir tableau II.1).

| Type    | Station radar | Site      | Date d'installation |
|---------|---------------|-----------|---------------------|
| PSR/SSR | Oued Smar     | Alger     | Février 2001        |
| SSR     | Seraydi       | Annaba    | Décembre 2001       |
| SSR     | Murdjado      | Oran      | Janvier 2001        |
| SSR     | Guemmar       | El Oued   | Avril 2002          |
| SSR     | Bouderga      | El bayadh | Mai 2003            |

**Tableau II.1 : L'emplacement des radars en Algérie**

Ces radars coopèrent entre eux selon la topologie du projet TRAFCA « Traitement automatiques des fonctions de circulation aérienne».

Le système de contrôle du trafic aérien ATC peut utiliser le radar primaire de surveillance et le radar secondaire de surveillance seuls ou en combinaison pour assurer les services de contrôle de la circulation aérienne.

### **II.8.1.Zone de couverture**

La description des zones de couverture RADAR Primaire et secondaire.

Un radar primaire est prévu à Oran afin de mieux gérer la complexité de la convergence des activités civiles et militaires dans la région.

La (Figure .II.3) représente les cinq (05) radars secondaires de route Couvrant la partie nord de l'espace aérien installé sur les sites suivants : Alger, Oran, Annaba, El Oued et El-Bayadh (450 KM de portée).

Ces cinq antennes radar nous montrent leur rayonnement voire leurs couvertures à une altitude de 10000 20000 30000 pieds ASML, (Figure .II.3).

Les couvertures radar des mêmes antennes au niveau de vol FL300. Est parfaite et qui ne souffre d'aucun inconvénient.

Aux limites des couvertures des antennes, région de Boussaâda, un espace de silence à l'altitude 10000 pied ASML, apparait visiblement, et qui est un inconvénient majeur.

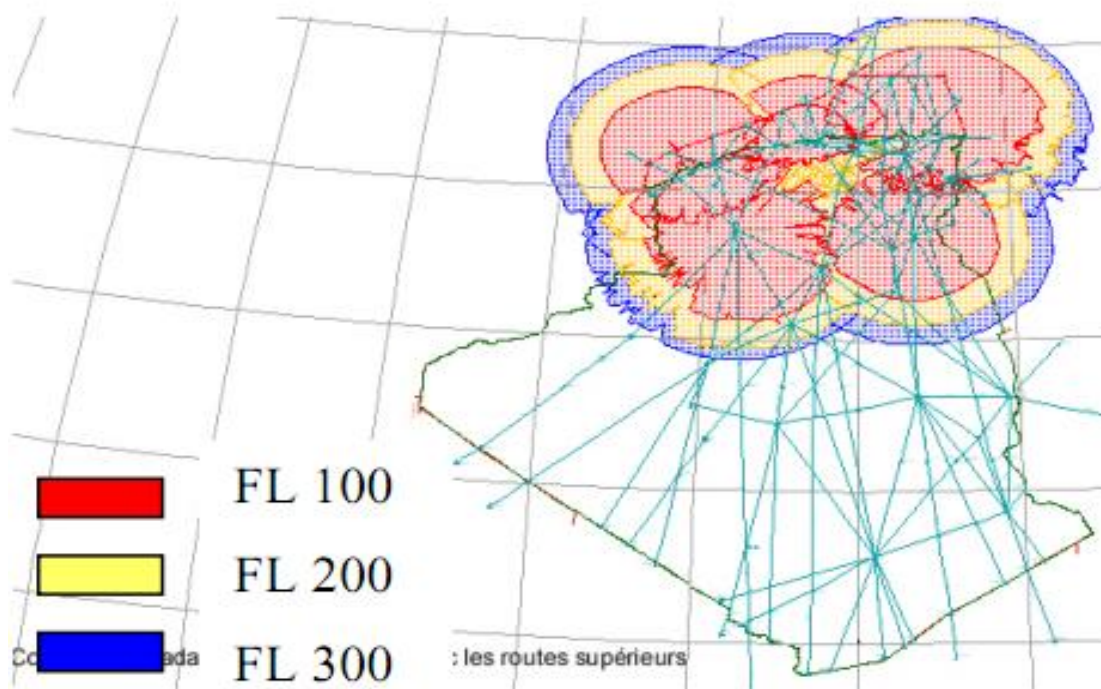


Figure II .3 : Couverture radar actuelle (TRAFCA)

### II.8.2.Les moyens de surveillance mis à disposition de l'ATC :

### **II.8.2.1. Le radar primaire :**

Le radar primaire est un équipement de détection ayant une portée d'environ 100 Nm (pour les radars civils), muni d'un faisceau fin balayant en azimuth sur 360° autour de la station pour fournir la position d'une cible en coordonnées polaires (distance et azimuth).

En contrôle de la circulation aérienne, cette visualisation des aéronefs dans un volume d'espace donné fournit aux contrôleurs une vue en plan du trafic considéré.

Le radar PSR, installé sur l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene, est destiné principalement au contrôle d'approche compte tenu du volume de trafic relativement important traité par cet aérodrome.

### **II.8.2.2. Le radar secondaire :**

Le radar secondaire, de technique mono impulsion, localise les avions sur le même principe que le radar primaire sauf qu'ici, l'onde émise sollicite un équipement bord "le transpondeur" qui répond aux interrogations du radar. La collaboration de l'avion est donc impérative pour ce système qui offre en outre la possibilité d'accès aux modes A et C essentielles au contrôle de la circulation aérienne.

Les radars SSR installés en Algérie sont destinés au contrôle en route et d'approche.



**Figure II .4 : Station Radar primaire/secondaire à Oeud Smar (140 km de portée)**

### **II.8.2.3. Mise en œuvre de Surveillance Dépendante Automatique (ADS) :**

La mise en œuvre de ADS offre la possibilité d'assurer des services de surveillance dans les régions qui sont dépourvues dans l'infrastructure actuelle , en particulier dans les régions océaniques et dans d'autres régions, ou carrément impossible de mettre en œuvre les systèmes actuels.

Cas du sud Algérien ou l'installation de matériel au sol est très couteux, donc pour répondre à l'exigence RNP, cette partie nécessite une couverture ADS.

L'ADS sera utile dans d'autres régions, notamment les régions à forte densité de circulation, ou elle peut compléter le radar secondaire de surveillance ou le remplacer en cas de panne et réduire de ce fait la nécessité du radar primaire. De plus, dans certaines circonstances, elle peut même prendre la place du radar secondaire.

Comme en ce qui concerne les systèmes de surveillance actuels, pour tirer pleinement partie de l'ADS, il faudra disposer des communications voix et données bidirectionnelles pilote- contrôleur.

L'ADS-C (Automatic Dependant Surveillance - Contract) est mise en œuvre dans toute la région d'information de vol (FIR) d'Alger depuis le 06 Février 2008. Avec l'ADS-C

l'avion utilise ses systèmes de navigation satellitaires ou inertiels pour déterminer et transmettre au centre responsable sa position et d'autres selon des contrat .

#### **II.8.2.3.1. Les contrats :**

L'aéronef fournit des informations aux services ATS dans les cas suivants :

- **Contrat à la demande** : L'aéronef fournit les informations sur demande du contrôleur aérien;
- **Contrat périodique** : L'aéronef fournit des informations périodiquement ;
- **Contrat d'événement** : L'aéronef fournit des informations lorsque certains événements sont détectés et plus particulièrement :
  - a) Changement d'un point de cheminement ;
  - b) Ecart par rapport à la gamme de niveau ;
  - c) Changement d'écart latéral.

#### **II.8.2.3.2. Les alarmes liées à l'ADS/ C :**

Le système algérien automatique du contrôle du trafic arien (SAACTA) qui fait partie du

système TRAFCA est conçu, en outre, pour visualiser les données ADS. La fonction liaison de données intégrée au système SAACTA permet :

- La gestion de la connexion ADS ;
- La gestion des contrats ADS ;
- La gestion des pistes ADS.

L'ADS offre, en outre les possibilités du filet de sauvegarde suivantes :

##### **➤ Capacité d'alerte ADS :**

-DAIW : Danger Area Infringement Warning qui permet au contrôleur aérien de surveiller l'évolution de l'aéronef et d'alerter le contrôleur aérien en cas d'intrusion dans une zone réglementée.

##### **➤ Capacité intégrée piste ADS/plan de vol :**

- ARCW: ADS Report Conformance Warning Checking, permet de surveiller la conformité de la route du plan de vol avec la route programmée à bord de l'aéronef, transmise dans le groupe route prévu du message ADS.

- RAM : Route Adherence Monitoring, surveillance de la route du plan de vol.

- CLAM : Cleared Level Adherence Monitoring, surveillance du niveau de vol autorisé
- APR : compte rendu de position automatique.

D'autre part la mise en œuvre de ADS-B vont nécessiter le déploiement au sol d'un ensemble de stations de réception des messages ADS/B transmis par les avions équipés. La couverture est déterminée par la localisation des sites récepteurs ADS-B au sol. Leur co-implantation avec voix et données au niveau des installations de CNS proposées fournirait la double couverture au-dessus de l'espace aérien de toute la FIR algérienne et permettrait leur mise en œuvre d'une manière efficace.

#### **II.8.2.4.l'implémentation radar Mode S en Algérie :**

Les Etats européens ont lourdement investi dans le programme Radar mode S et sont tenus de ce fait de rentabiliser cet investissement. Par ailleurs, seul le radar mode S est à même de répondre à la forte croissance de trafic, enregistré de manière régulière dans le ciel européen, contrairement à L'ADS-B qui présente des limitations dans les espaces à forte densité de trafic. C'est la raison pour laquelle les états européens envisagent de l'utiliser dans les zones océaniques ou dans l'espace méditerranéen.

Dans le cadre du programme européen de généraliser l'utilisation des radars mode S, l'emport du transpondeur mode S a devenu obligatoire pour la majorité des aéronefs évoluant dans l'espace aérien européen.

Cette décision aura des retombées très bénéfiques sur le trafic transitant par ou à destination de la FIR Alger, au cas où l'ENNA décide de passer rapidement vers le SSR-S. Le trafic des aéronefs équipés transpondeur mode S dépasse largement les 90% dans la FIR Alger.

##### **II.8.2.4.1.Architecture radar Mode S proposée :**

La (Figure II.5) montre les différentes phases du projet TRAFCA / PDGEA que l'Algérie à travers l'ENNA a mis en place afin d'assurer une sécurité absolue du trafic aérien nationale et international.

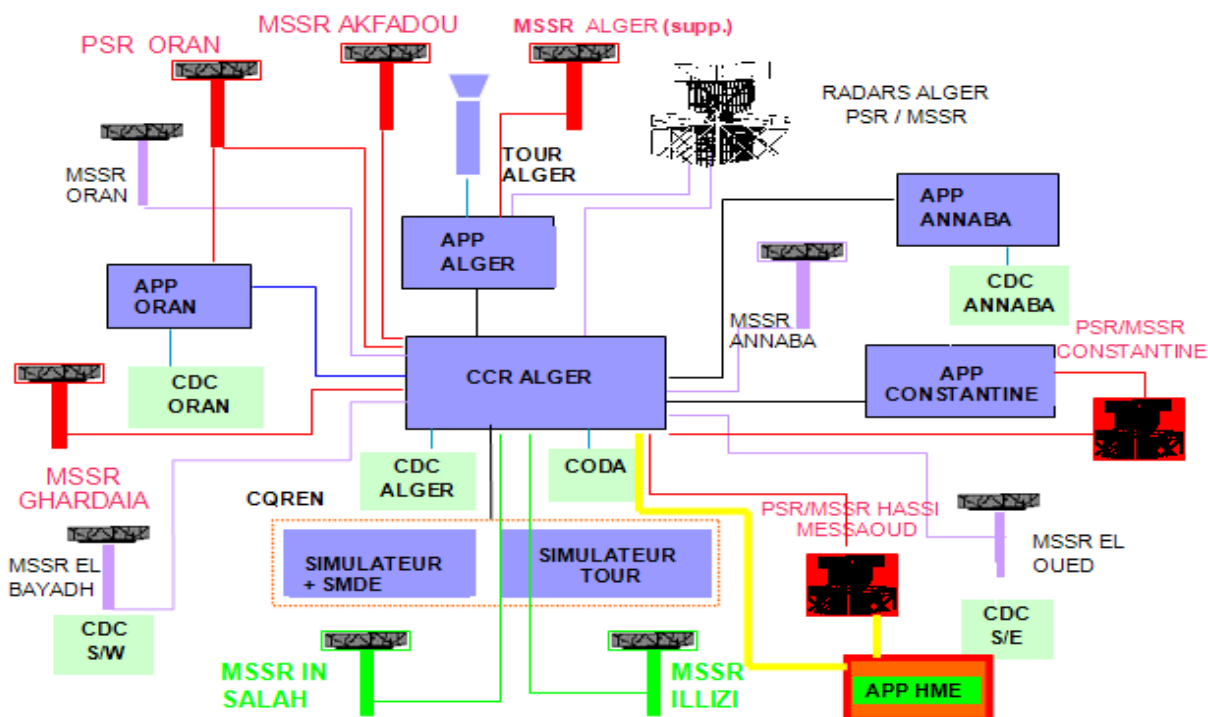


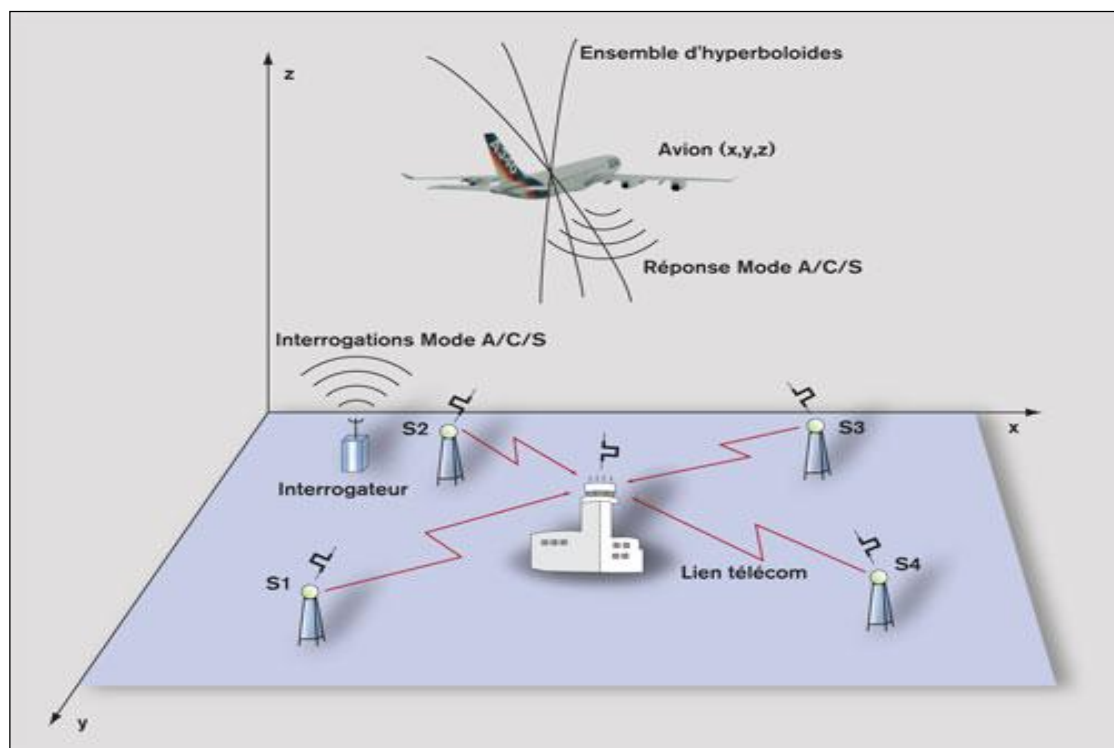
Figure II .5 : Le Système TRAFCA / PDGEA

#### II.8.2.5. la multilatération en Algérie :

La surveillance sol est une toute autre problématique que celle « en route » ou « en approche ». En effet savoir où se trouve l'appareil, le guider, déterminer où il va, éviter les collisions au sol du moins être informé de la position de tous les autres véhicules susceptibles d'évoluer sur les différentes voies de circulation sont, pour le contrôleur sol, des exigences essentielles de sécurité. Par beau temps, le contrôleur fournit les informations de guidage au pilote grâce à une surveillance visuelle et le pilote est chargé d'assurer l'anti-collision. Ce principe trouve vite ses limites dès que la visibilité se dégrade. Les aéroports les plus importants ont donc développé des outils d'aide au contrôle (radars sol) pour permettre au contrôleur d'assurer sa mission.

Bien sûr pour un aéroport qui n'a aucun système de surveillance comme le cas de Hassi Messaoud, l'introduction d'un premier moyen comme un radar sol va permettre de lever les

restrictions de la réglementation mais ensuite la capacité de l'aéroport va atteindre une autre limite. Une fois cette limite atteinte, l'augmentation de la capacité ne peut être obtenue que par l'évolution de la surveillance aéroportuaire ; ainsi pour percevoir un impact en matière d'efficacité comme la réduction du temps de roulage, la limitation du temps d'attente, l'amélioration de la fluidité du trafic, il faut mettre en place un système très évolué avec toutes les fonctions du A-SMGCS (surveillance, contrôle, routage et guidage) basé sur la multilatération mode S.



**Figure II .6 : Schéma de principe de la localisation multilatération**

#### **II.8.2.5.1.Architecture multilatération proposée :**

La Multilatération utilise un certain nombre de stations au sol, qui sont placées dans des endroits stratégiques autour de l'aéroport, pour cela on propose de placer :

- Une station centrale située à proximité du bloc technique de la tour de contrôle ;



- Trois stations secondaires réparties autour de l'aire de mouvement, selon la densité de trafic et les performances demandées citées au paravent.

Ces unités détectent les réponses typiquement aux signaux d'interrogation transmis par le SSR-S local. Chaque station secondaire est constituée d'un récepteur mode S, d'un faisceau hertzien et de son alimentation.

L'équipement central se compose, quant à lui, de:

- Trois antennes permettant de recevoir les faisceaux hertziens des autres sites ;
- Un récepteur mode S ;
- Une unité de traitement ;
- Un écran de visualisation au niveau de la vigie de contrôle.

Un processus complet de choix des sites sera nécessaire pour situer le lieu d'implantation de ces stations ainsi l'étude sur place du site sera primordiale pour évaluer sa convenance.

Puisque les différents aéronefs seront aux distances différentes de chacune des stations au sol, leurs réponses seront reçues par chaque station aux heures infiniment différentes. Utilisant des techniques de traitement par ordinateur avancées, ces distinctes différences de temps permettent à la position d'un aéronef d'être avec précision calculée.

L'avantage de la multilatération à Hassi Messaoud qu'elle n'exige aucun équipement additionnel de l'avionique des compagnies desservant la plate forme (surtout les compagnies Algérienne Air Algérie et Tassili Airlines), car elle utilise des réponses des émetteurs-récepteurs du mode A/C/S et d'ADS-B aussi bien que les émetteurs-récepteurs militaires d'IFF (avions survolant la zone militaire de Ouargla).

## II.9. Conclusion

Cette étude permettra d'augmenter la capacité globale de l'espace aérien Algérien, en améliorant les services rendus et le niveau de sécurité aérienne, ces évolutions reposent sur les moyens CNS actuels et sa mise en œuvre, nécessite une formation spécifique du personnel et la rédaction des nouvelles lettres d'accord avec les organismes étrangers voisins et les organismes d'approche.

L'Algérie serait alors doté d'un système de contrôle efficace et performant que les compagnies qui contournent aujourd'hui l'espace national n'hésiteraient plus ce emprunter.

**Chapitre II : Etude des systèmes de surveillance et leur application en Algérie**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Introduction .....                                          | 56 |
| II.2. Généralités sur la surveillance .....                       | 56 |
| II.2.1. Définition.....                                           | 56 |
| II.2.2. Les besoins .....                                         | 56 |
| II.2.3. Les cibles .....                                          | 68 |
| II.2.4. Les informations cherchés reliés à l'avion.....           | 68 |
| II.2.5. La classification de la surveillance .....                | 68 |
| II.3. Les moyens de surveillance.....                             | 69 |
| II.3.1. Radar primaire.....                                       | 69 |
| II.3.2. Radar secondaire.....                                     | 70 |
| II.3.3. Automatic Dependant Surveillance - Contract (ADC-C )..... | 71 |
| II.3.4. Automatic Dependant Surveillance - Broadcast (ADC-B)..... | 72 |
| II.4. Systèmes de poursuite .....                                 | 74 |
| II.4.1Système à mosaïques .....                                   | 74 |
| II.4.2. Système de fusion multi-pistes .....                      | 75 |
| II.4.3. Système de fusion multi-plots .....                       | 75 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.4.4. ARTAS.....                                                           | 75 |
| II.5. Corrélation.....                                                       | 75 |
| II.6. Système de visualisation .....                                         | 76 |
| II.7. Service de surveillance sol.....                                       | 76 |
| II.8. l'application de la surveillance en Algérie.....                       | 77 |
| II.8.1.Zone de couverture .....                                              | 78 |
| II.8.2.Les moyens de surveillance mis à disposition de l'ATC :.....          | 79 |
| II.8.2.1. Le radar primaire :.....                                           | 80 |
| II.8.2.2.Le radar secondaire : .....                                         | 80 |
| II.8.2.3. Mise en œuvre de Surveillance Dépendante Automatique (ADS) : ..... | 81 |
| II.8.2.3.1. Les contrats :.....                                              | 82 |
| II.8.2.3.2. Les alarmes liées à l'ADS/ C :.....                              | 82 |
| II.8.2.4.l'implémentation radar Mode S en Algérie : .....                    | 83 |
| II.8.2.4.1.Architecture radar Mode S proposée :.....                         | 83 |
| II.8.2.5. la multilatération en Algérie : .....                              | 84 |
| II.8.2.5.1.Architecture multilatération proposée :.....                      | 85 |
| II.9. Conclusion.....                                                        | 45 |

### III.1.INTRODUCTION

Le terme TCAS est l'abréviation du terme Traffic Collision Avoidance System, en français, cela signifie Système d'alerte anti-collision entre aéronefs.

En 1956, des résultats d'études menées aux Etats-Unis signalèrent que les essais effectués au cours des quatre dernières années indiquaient que l'utilisation généralisée des dispositifs d'avertissement de proximité réduisait sensiblement la menace croissante des collisions aériennes. De plus, l'importante croissance du trafic aérien suscite l'intérêt général pour de tels dispositifs. Mais l'élément stimulateur et déclencheur de la recherche plus détaillée reste une collision survenue le 30 juin 1956, au dessus du Grand Canyon entre deux avions de ligne.

A partir de là, de nombreuses versions d'instruments de prévention des collisions seront proposées. De cette discussion naîtra le TCAS tel qu'il existe aujourd'hui.

### III.2. Historique

Comme mentionné précédemment, TCAS ou d'autres dispositifs semblables furent à différentes étapes de recherche et de développement à partir du milieu des années 50 .

les scientifiques commencèrent à explorer les possibilités de développement d'un équipement et de l'installer dans l'avion pour le protéger des collisions. La recherche se fit sous le nom de recherche d'ACAS (Airborne Collision Avoidance System). Un des premiers systèmes proposés, développé dans les années 1950, était un dispositif à trois portées pour les jets à haute vitesse. Cet instrument réglable devait diminuer les fausses alertes dans les zones encombrées. La portée la plus courte est utilisée pour les zones d'approche encombrées, la moyenne portée pour les vols en basse altitude, enfin la plus longue portée était utilisée pendant le vol en altitude de croisière. Les premiers systèmes étaient basés sur des équipements tentant de calculer la « miss-distance » (le manque de distance) c'est-à-dire la distance à laquelle se trouve un point à éviter.

Ce point est défini en fonction de la vitesse et le cap d'un autre appareil, qui devaient alors être calculées. Mais cela présentait des problèmes dans des conditions turbulentes. De plus, la taille de l'équipement était considérée comme excessive. Ce système n'a donc jamais eu de suite.

Un autre type de dispositif, développé par Bendix Radio vers la fin des années 1950, avait une approche différente, et utilisait le temps. En effet il déterminait le temps restant avant que les avions soient à une distance minimale de séparation permettant de s'éviter par une manœuvre. N'ayant pas à prévoir le manque de distance, il ne présentait donc pas le problème de la mesure précise du cap de l'autre appareil, et était donc plus efficace.

Avant l'atteinte de cette distance de séparation minimale, une alarme devait sonner et indiquer au pilote la nécessité d'une montée ou d'une descente. A l'aide d'un émetteur UHF (à Fréquence Ultra Haute), des impulsions étaient envoyées, à des intervalles variant selon l'altitude à laquelle se trouve l'avion. Le récepteur du système interprète l'altitude de n'importe quel appareil équipé de manière similaire situé dans le domaine de portée. Si un appareil était détecté à une altitude proche ou à même altitude, des analyses plus profondes étaient nécessaires. Pendant le développement du système Bendix, le Docteur John Morell découvre et utilise pour la première fois le concept du « Tau », basé sur le temps, et non pas sur la distance. Mathématiquement, le « Tau » est exprimé par la distance à l'appareil intrus divisée par sa vitesse de rapprochement. Seules les distances aux avions situés à même altitude ou à altitude proche et la vitesse à laquelle évolue cette distance devaient être connues. Pour cela, les ingénieurs ont conçu un système appelé le « ground-bounce ranging system ». Un transmetteur envoie deux signaux simultanés : l'un va directement à un avion receveur, et l'autre rebondit sur le sol puis va jusqu'à ce même avion. Le temps d'écart entre le signal direct et le signal réfléchi par le sol était calculé pour déterminer la distance de séparation. Si le délai était court, alors la distance parcourue par le signal direct et celle parcourue par le signal réfléchi étaient presque égales, en prenant compte l'altitude, cela voulait dire que l'avion était considérablement éloigné. A l'inverse, si ce délai était long, les deux avions étaient peu séparés l'un de l'autre.

Le programme TCAS est lancé en 1981 aux Etats-Unis. A l'origine, le système localise et suit la route d'un avion équipé d'un transpondeur Beacon. Actuellement, trois versions du TCAS existent : le TCAS I, le TCAS II et le TCAS III.

Le premier, le TCAS I (Figure III.1), est moins performant que les deux autres, mais aussi moins cher, et peut donc équiper l'aviation générale. Le transmetteur du TCAS I envoie des signaux et interroge les transpondeurs en Mode-C. Le récepteur et l'affichage en cockpit indiquent un cap approximatif et l'altitude relative de tout avion situé dans la marge choisie, généralement environ 40 milles (environ 72 km). De plus, le dispositif emploie un code de couleurs pour indiquer les avions constituant une menace potentielle. Cela équivaut à un TA (Traffic Advisory : Trafic consultatif en français).

Le second, le TCAS II est un système plus complet que le TCAS I. Le 31 Décembre 1993, son installation fut exigée sur tous les avions gros porteurs. Il offre les mêmes avantages mais publiera également des RA (Resolution Advisory) au pilote. En d'autres termes, le système sera capable de tracer l'avion intrus, et de dire si elle est en phase montée, descente, ou en vol de palier. Une fois tout ceci effectué, le système conseillera le pilote de faire une manœuvre d'évitement pour résoudre le conflit.

Le TCAS II est capable d'interroger les antennes en Mode-C et en Mode-S. Dans le cas de deux avions utilisant le système d'interrogation de Mode-S, les systèmes TCAS II des deux appareils communiquent l'un avec l'autre et donneront des RA différentes pour éviter que les deux aéronefs se percutent en effectuant la même manœuvre de montée ou de descente.

Puisque ce système est très coûteux, 200.000 Dollars par avion, les concepteurs ont rendu le système capable d'une mise à jour vers la prochaine génération de TCAS III. Ce dispositif sera virtuellement le même que le TCAS II, mais autorisera les pilotes qui recevront des RA à des manœuvres latérales d'évitement. Cela sera rendu possible par une antenne directionnelle plus précise que sur le TCAS II et une marge d'erreur plus faible. Cela se pourrait même que la nouvelle antenne permette de filtrer les mauvaises alertes puisqu'elle pourra déterminer la localisation d'un intrus avec plus de précision. Une autre mise à niveau doit effectuer une liaison de transfert de données avec le Mode-S. Avec cette liaison, un système sera capable de transmettre la position GNSS de l'appareil dans lequel il est installé et son vecteur vitesse aux autres avions équipés du TCAS, fournissant ainsi des informations plus précises.

Le système TCAS mis en évidence un problème : A qui faut-il obéir en cas d'ordres de TCAS et de l'ATC contraires ? Autrement dit le problème ici mis en évidence est l'interaction entre l'homme et la machine. Pour éviter ce genre d'accident, plusieurs mesures ont été prises, notamment :

- L'OACI a donné l'instruction officielle aux pilotes de suivre sans délai ni hésitation les RA de leur TCAS.
- En cas de manœuvre d'évitement, un système automatique lié au TCAS devrait avertir rapidement par radio le contrôle au sol, et ce, dès la réception de la RA. L'information devrait

indiquer si l'avion monte ou descend, pour que les contrôleurs dont l'écran de contrôle n'affichent pas tout de suite ce paramètre soit rapidement au courant de la situation.



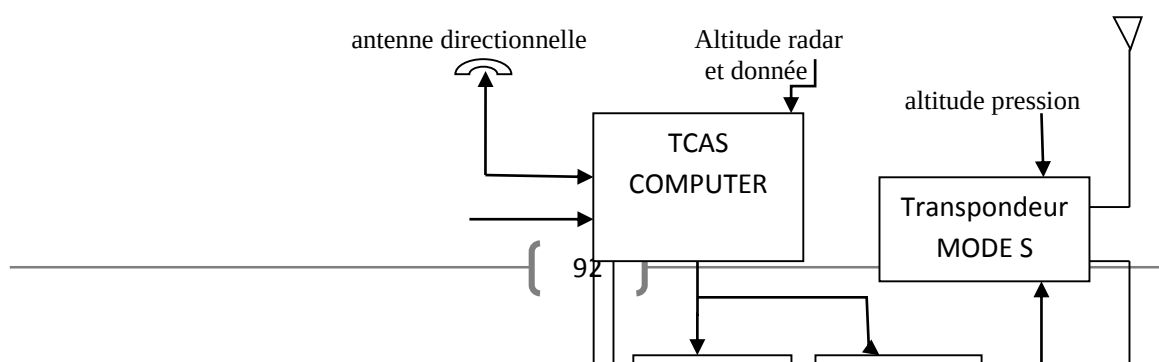
**Figure III.1 : Boîtier de commande TCAS**

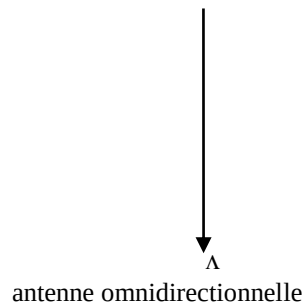
### III.3. La description technique du TCAS II

Un TCAS II se compose des éléments principaux suivants. Voir (figure III.2)

#### 3.1. Le calculateur TCAS

Le calculateur TCAS, ou TCAS Processeur, effectue la surveillance de l'espace aérien, suivi des intrus, détection de menace, détermination des manœuvres RA et la sélection et la production des bulletins. Le processeur TCAS utilise l'altitude-pression, altitude radar pour contrôler les paramètres logiques d'évitement de collision qui déterminent le volume de protection autour de l'avion du TCAS. Si un aéronef suivie est une menace, le processeur sélectionne une manœuvre d'évitement qui fournira la distance verticale d'évitement adéquate de l'intrus tout en minimisant les perturbations de la trajectoire de vol existant. Si l'avion de menace est également équipé d'un TCAS II, la manœuvre d'évitement sera coordonnée avec l'avion de menace.





**Figure III.2 : Schéma opérationnelle de TCAS II**

### 3.2. Transpondeur mode S

Un transpondeur mode S doit être installé sur le TCAS II . Si le transpondeur mode S échoue, le moniteur TCAS de performance permet de détecter cette défaillance et placer automatiquement TCAS en veille. Le transpondeur mode S remplit les fonctions normales pour soutenir le système ATC au sol et peuvent travailler soit avec un ATC/RBS ou un capteur au sol de mode S. Le transpondeur mode S est également utilisé pour assurer un échange de données air-air entre avion TCAS équipée de sorte que la coordination, RA complémentaires peuvent être émises en cas de besoin.

### 3.3. Panneau de contrôle Mode S /TCAS

Un seul panneau de contrôle est fourni pour permettre à l'équipage de sélectionner et de contrôler tous les équipements TCAS, y compris le processeur de TCAS, le transpondeur mode S, et dans certains cas, l'affichage TCAS . Un panneau de contrôle typique offre quatre positions de contrôle de base:

#### Stand - by

La puissance est appliquée au processeur TCAS et le transpondeur mode S, mais le TCAS ne délivre pas les interrogations et le transpondeur ne répond qu'à les interrogations discrets



### **Transpondeur**

Le transpondeur mode S est pleinement opérationnel et répondra à toutes les interrogations de sol et TCAS appropriées. TCAS reste en veille.

### **TA**

le transpondeur mode S est pleinement opérationnel. TCAS fonctionne normalement et délivrer le cas échéant des interrogations et exécuter toutes les fonctions de suivi. Toutefois, le TCAS n'attribuera que des TA, et les RA seront inhibés.

### **Automatique ou TA / RA**

Le transpondeur mode S est pleinement opérationnel. Le TCAS fonctionne et émettre les interrogations appropriées et exécuter toutes les fonctions de suivi. TCAS émet des TA et RA. Comme indiqué sur la (figure III.2), tous les signaux de commande de TCAS sont acheminés par le transpondeur en mode S.

## **3.4. Les antennes**

Les antennes utilisées par le TCAS II comprennent une antenne directionnelle qui est monté sur la partie supérieure de l'appareil et omnidirectionnelle ou une antenne directive montée sur la partie inférieure de l'appareil. La plupart des installations utilisent une antenne directionnelle sur le fond de l'appareil.

Ces antennes émettent des interrogations sur 1030 MHz à différents niveaux de puissance dans chacun des quatre segments 90° d'azimut.

L'antenne monté au dessous émet moins d'interrogations et à une puissance inférieure à l'antenne monté sur le dessus. Ces antennes reçoivent également les réponses du transpondeur, à 1090 MHz, et d'envoyer ces réponses au processeur du TCAS.

Les antennes directionnelles permettent la répartition des réponses à réduire le garblings synchrone.

En plus des deux antennes du TCAS, deux antennes sont également nécessaires pour le transpondeur mode S. Une antenne est montée sur la partie supérieure de l'appareil tandis que l'autre est monté sur la partie inférieure. Ces antennes permettent le transpondeur mode S pour recevoir des interrogations à 1030 MHz et la réponse aux interrogations reçues à 1090 MHz.

## **3.5. Présentation du Cockpit**

L'interface du TCAS est assurée par deux écrans, l'affichage de la circulation TA et l'affichage de la résolution RA. Ces deux écrans peuvent être mise en œuvre de plusieurs façons, y compris les écrans qui incorporent deux écrans en une seule unité physique. Quelle que soit l'application, les informations affichées sont identiques.

Les normes à la fois pour l'affichage de la circulation et l'affichage RA sont définis dans le DO-185A.

### 3.5.1. Affichage du trafic TA

L'affichage de trafic, qui peut être mis en œuvre soit sur un temps partiel ou à temps plein, représente la position de la circulation à proximité, par rapport à son avion. Il est conçu pour fournir de l'information qui aidera le pilote à l'acquisition visuelle des autres aéronefs. Si elle est appliquée sur une base à temps partiel, l'affichage est automatiquement activé chaque fois qu'un TA ou une RA est délivré. Les implémentations actuelles incluent les affichages trafic dédiés; affichage des informations de trafic sur les écrans des radars météorologiques partagées, Indication du moteur et de l'équipage du système d'alerte (EICAS); et d'autres écrans multifonctions.

La majorité des afficheurs de trafic fournissent également le pilote avec la possibilité de sélectionner plusieurs plages et pour sélectionner la bande d'altitude pour le trafic à afficher. Ces capacités permettent au pilote d'afficher le trafic à plus longue portée et avec une plus grande séparation d'altitude en vol de croisière, tout en conservant la possibilité de sélectionner des plages d'affichage faible dans les zones terminales de réduire le montant de l'affichage encombrement.

- notre avion, symbole en blanc
- Autre trafic, Diamant en blanc
- Le trafic de proximité, 200 pieds ci-dessous et descente. Diamant plein, blanc.
- Avis de circulation TA (intrus), 700 pieds au-dessus. Cercle orange solide.
- Résolution consultatif (RA). 100 pieds au-dessous. Carrée rouge solide



**Figure III.3 : Symbole normalisé pour l'usage sur l'écran de la circulation**

### 3.5.2. Affichage des résolutions RA

L'affichage de la RA fournit au pilote des informations sur la vitesse verticale de voler ou d'éviter une menace. L'affichage de la RA est généralement sur un indicateur de vitesse verticale instantanée (IVSI), ou sur une bande de vitesse verticale qui fait partie d'un (PFD) ou en utilisant des signaux affichés sur le PFD.

Les RA a également été mis en œuvre sur un afficheur (HUD). Les implémentations utilisant le (IVSI) ou une utilisation de bande rouge de vitesse verticale et des feux verts ou des marques pour indiquer les vitesses verticales à éviter (rouge) et la vitesse verticale désirée (vert). Une mise en œuvre à l'aide des indices hauteur utilise une forme unique sur le PFD pour montrer l'angle de tangage à suivre, ou éviter de résoudre une rencontre.

L'implémentation HUD utilise aussi une forme unique pour indiquer la trajectoire de vol pour éviter de résoudre une rencontre.

En général, la mise en place autour d'un IVSI est utilisé sur les ancienne appareil.

L'implémentation de l'écran LCD a aussi la capacité à fournir à la fois le trafic et RA afficher sur un seul instrument.

Sur les avions équipé d'un VFI, les avionneurs ont mis en place l'affichage du RA sur la bande de vitesse verticale.

Les normes pour la mise en œuvre de l'affichage du RA sont fournis en DO-185A.

En plus des implémentations décrites ci-dessus, le DO-185A définit les exigences pour la mise en œuvre de l'affichage du RA par le directeur de vol et le HUD.

La (figure III.4) montre un affichage du RA sur un écran LCD, qui fournit également des informations du trafic.

La (figure III.5) montre les deux implémentations possibles sur le PFD.

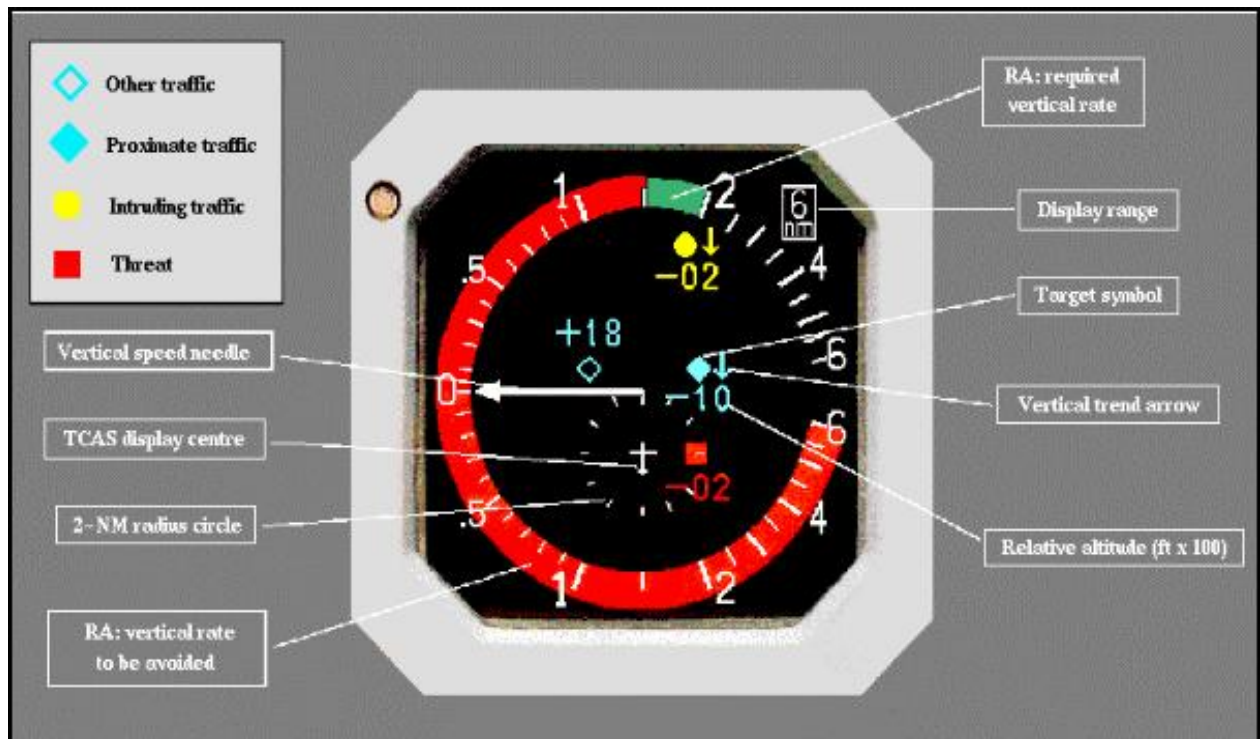
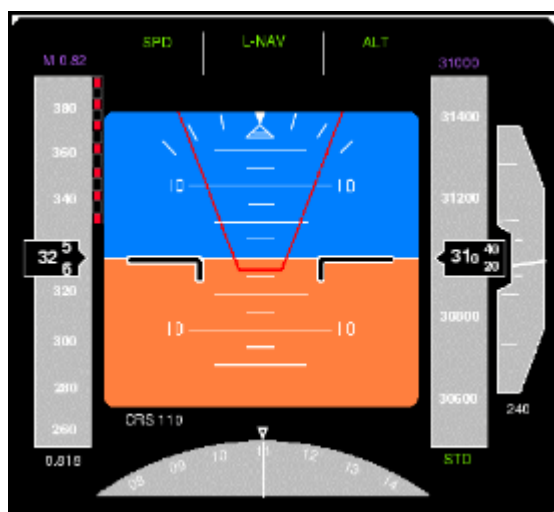


Figure III.4 : Visualisation de la mise en œuvre de TCAS sur une IVSI



Implémentation sur indice de tangage

Implémentation bande verticale de vitesse

Figure III.5: Affichage de l'implémentation TCAS sur PFD

### **III.4. La fonction de surveillance**

La fonction de surveillance permet à un avion équipé TCAS d'interroger les transpondeurs Mode S et Mode A/C qui se trouvent autour de lui .l'objectif est de déterminer la position relative et l'évolution des aéronefs intrus .le TCAS peut poursuivre simultanément jusqu'à 30 intrus avec une portée nominale de 14 NM pour les cibles mode A/C et 30 NM pour les cible mode S .

#### **III.4. 1. Intrus équipés de transpondeur Mode S**

La surveillance par le TCAS des avions équipés Mode S s'appuie sur l'adressage sélectif du transpondeur Mode S .le TCAS écoute les messages spontanés (squitters) émis toutes les secondes par les transpondeurs Mode S .l'adresse individuelle de l'émetteur est contenue dans le squitter .

Suite à la réception d'un squitter, le TCAS envoie une interrogation Mode S contenue dans le message .le TCAS détermine la distance, le gisement et l'altitude de l'avion intrus à partir de la réponse fournie.

Le TCAS effectue une poursuite en distance, en gisement et en altitude de tout intrus Mode S. ces données alimentent la logique d'anti –abordage pour la détermination des avis de trafic et de résolution.

#### **III.4. 2. Intrus équipés de transpondeur Mode A/C**

Le TCAS utilise une interrogation Mode C modifiée pour interroger les transpondeurs mode A/C .cette interrogation est connue sous le nom « d'appel général mode C seulement » .il faut noter que le TCAS ne connaît pas le code mode A des aéronefs intrus.

Les réponse des transpondeurs mode A/C font l'objet d'une poursuite en distance ,en gisement et en altitude ces donnée sont transmises à la logique d'anti abordage pour la détermination des avis de trafic et de résolution .

Toute fois, dans certains cas, les transpondeurs mode A/C peuvent répondre à « l'appel général mode C seulement » sans fournir d'information d'altitude. le TCAS utilise donc les impulsions de synchronisation de la réponse pour initialiser et maintenir une poursuite uniquement en distance et gisement sur ces avions .ces informations sont transmises à la logique

d'anti abordage pour la détermination et l'affichage des avis de trafic .elles ne permettant pas l'élaboration d'avis de résolution.

Les problèmes de chevauchements synchrones et asynchrones ainsi que la réflexion des échos par le sol rendent la surveillance par le TCAS de avions disposant du mode A/C plus complexe que celle des avions équipé mode S .

### **III.4. 2.1. Chevauchement synchrone**

Lorsqu'une interrogation « appel général mode C seulement » est émise par le TCAS ,tous les transpondeurs mode A/C qui la reçoivent répondent .en raison de la durée de la réponse ,tous les avions équipés mode A/C dont la défférence de distance par rapport à l'avion TCAS est faible,peuvent générer des réponses se chevauchant au niveau du TCAS . c'est ce que l'on appelle le chevauchement synchrone .

Différentes techniques sont utilisées pour diminuer ce phénomène .

- Des algorithmes permettent de décoder efficacement jusqu'à trois réponses enchevêtrées.
- L'utilisation conjointe d'interrogations de puissance variable et de signaux de suppression permet de réduire le nombre de transpondeurs répondent à une interrogation. Cette technique, connue sous le nom de « whisper-shout », met à profit les différences de sensibilité des transpondeurs en réception et les différences de gain des antennes des avions intrus.
- Une autre manière de réduire le chevauchement synchrone consiste à interroger de façon directive, ce qui réduit le nombre de réponses pouvant se chevaucher. Un léger recouvrement de couvertures est réalisé pour couvrir complètement l'espace.

### **III.4. 2.2. Chevauchement asynchrone**

Le chevauchement asynchrone est du à la réception de réponses transpondeur non désirées qui

font suite à une interrogation émise par un radar de surveillance ou un autre TCAS ,ces réponses appelées FRUIT « false Replies from Unsynchronised interrogator Transmissions » sont transitoires ,elles sont identifiées et rejetées par les algorithmes de corrélation réponse-réponse ,la probabilité qu'une piste ,basée sur des réponses dues au FRUIT ,soit créée et maintenue est extrêmement faible.

### **III.4. 2.3.Effet multi-trajet**

Eviter qu'une piste soit créée avec des réponses multi-trajet est un aspect de la conception du TCAS, l'effet multi-trajet, causé par la réflexion d'une réponse à une interrogation du même avion, généralement de puissance inférieure. Pour maîtriser cet effet la puissance du signal est directement utilisée ; elle détermine le niveau de déclenchement minimum du récepteur TCAS. Cette technique appelée DMTL (Dynamic Minimum Triggering Level) permet d'éliminer les signaux retardés et plus faibles dus aux réflexions.

### **III.5. Limitation d'interférence**

La fonction de surveillance intègre un mécanisme de limitation des interférences électromagnétiques sur la bande 1030/1090Mhz, chaque unité TCAS est conçue de manière à limiter sa propre transmission, le TCAS dans sa couverture grâce à l'émission toutes les huit secondes d'un message « présence TCAS » contenant l'adresse mode S de son émetteur, lorsque le nombre d'unités TCAS augmente, le nombre et la puissance d'interrogation sont réduits.

De plus, à proximité des zones de trafic dense (pour des altitudes inférieures au FL 180), la période d'interrogation nominale fixée à une seconde passe à cinq secondes pour les intrus considérés comme non menaçants éloignés d'au moins 3 NM et présentant un préavis d'alarme supérieur à 60 secondes, ce mécanisme est appelé « surveillance réduite ».

Ces limitations permettant d'éviter qu'un transpondeur soit trop utilisé par l'activité TCAS et que le TCAS génère un taux de FRUIT trop élevé pour les radars de surveillance, dans les espaces très denses il peut en résulter pour l'avion TCAS une portée pouvant être réduite à 5 NM.

### **III.6. Principe de fonctionnement :**

La logique d'anti-abordage ou logique CAS (collision Avoidance System) est une logique prédictive, elle repose sur les deux notions fondamentales de niveau de sensibilité et de préavis d'alarme.

Le niveau de sensibilité est fonction de l'altitude et définit le niveau de protection, le préavis d'alarme repose principalement sur le temps (et non pas la distance) pour atteindre le point de rapprochement maximal ou CPA (closer point of approach), le préavis d'alarme intègre une protection supplémentaire en distance pour le cas des rapprochements lents.

### III.6. 1.Niveau de sensibilité

Un compromis est nécessaire entre la protection que doit fournir la logique d'anti-abordage et les fausses alarmes liées au caractère prédictif de la logique, cet équilibre est obtenu par la commande du niveau de sensibilité ou SL (sensitivity level), qui contrôle les dimensions d'un « volume de protection » théorique autour de chaque avion équipé TCAS, le niveau de sensibilité en fonction de l'altitude est varié de 1 à 7, plus ce niveau est grand plus la protection est grande.

Côté pilote, trois modes de fonctionnement du TCAS sont disponibles : « stand-by », « TA-ONLY » et « AUTOMATIC », la logique convertit ces modes en niveaux de sensibilité :

- Quand le mode « STAND-BY » est sélectionné par le pilote (SL=1), le TCAS ne transmet pas d'interrogation, normalement ce mode est utilisé lorsque l'avion est au sol ou en cas de dysfonctionnement du système
- En mode « TA-ONLY » (SL=2), le TCAS remplit la fonction de surveillance cependant seuls les TA sont fournis, le TCAS n'élabore pas de RA.
- Quand le pilote sélectionne le mode « AUTOMATIC », le TCAS détermine automatiquement le SL en fonction de l'altitude de l'avion, le SL niveau 2 est sélectionné entre 0 et 1000 ft AGL (Above Ground Level) mesuré par le radioaltimètre, ce niveau correspond au mode « TA-ONLY » du SL niveau 3 au SL niveau 7 les TA et RA sont présentés, pour déterminer le niveau de sensibilité requis au-dessus de 2600 ft AGL environ, la logique utilise l'altitude par rapport au calage standard (1013.25 hpa) fournie par l'altimètre barométrique.

### III.6. 2. Préavis d'alarme

Dans l'anti-abordage, la notion la plus importante est le temps pour atteindre le CPA et non la distance à parcourir jusqu'à ce point, pour exploiter cette idée, la notion de préavis d'alarme ou TAU a été développée.

Le TAU est un seul qui est comparé au temps avant le CPA, calculé en divisant la distance entre les avions par la vitesse de rapprochement, le TCAS utilise le principe de TAU pour la plupart de ses fonctions d'alerte, les valeurs de TAU sont en fonction de SL.

De manière à éviter qu'un intrus puisse se rapprocher très près en distance sans déclencher de TA ou de RA, les limites de protection provenant du principe de TAU sont modifiées si la vitesse de rapprochement est très faible, cette modification appelée DMOD (Distance MODification) fournit une protection supplémentaire dans le cas de conflit avec une vitesse de rapprochement faible, les valeurs de DMOD sont également fonction du SL.



Les valeurs de TAU et de DMOD figurent sur le (Tableau III.1) , les valeurs présentées s'appliquent dans un cas général toutefois les valeurs de TAU liées au RA pouvant être réduites pour certains types de géométrie (telle que les stabilisations à 1000 ft) de manière à démunie le nombre de fausses alarmes.

| Altitude (pied) | SL | TAU (s) |     | DMOD(NM) |      | Seuil d'altitude (pied) |          |
|-----------------|----|---------|-----|----------|------|-------------------------|----------|
|                 |    | TA      | RA  | TA       | RA   | TA                      | RA(ALIM) |
| <100            | 2  | 20      | N/A | 0,30     | N/A  | 850                     | N/A      |
| 1000-2355       | 3  | 25      | 15  | 0,33     | 0,20 | 850                     | 300      |
| 2350-5000       | 4  | 30      | 20  | 0,48     | 0,35 | 850                     | 300      |
| 5000-10000      | 5  | 40      | 25  | 0,75     | 0,55 | 850                     | 350      |
| 10000-20000     | 6  | 45      | 30  | 1        | 0,80 | 850                     | 400      |
| 20000-42000     | 7  | 48      | 35  | 1,30     | 1,10 | 850                     | 600      |
| >42000          | 7  | 48      | 35  | 1,30     | 1,10 | 1200                    | 700      |

**Tableau III.1 : seuils d'alerte en fonction de l'altitude**

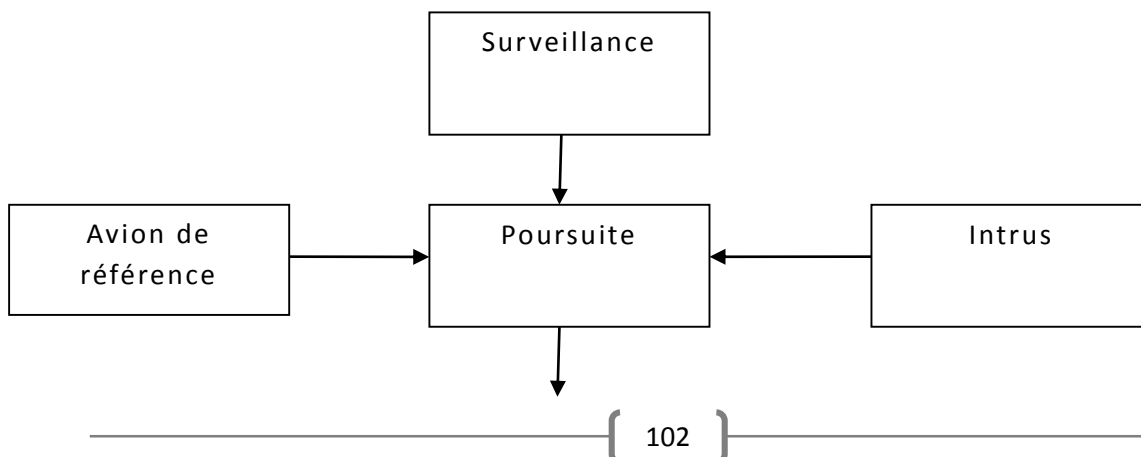
### III.7.La fonction CAS

Le TCAS est conçu pour assurer l'anti-abordage de deux avions dont la vitesse de rapprochement peut aller jusqu'à 1200 kts horizontalement et 10000 ft/mn verticalement.

Le TCAS augmente très significativement la sécurité, cependant, il ne peut éliminer entièrement le risque d'abordage de plus comme tout système prédictif il peut en induire lui-même .de nombreuses études ont été menées sur le sujet notamment au niveau de l'OACI.

De façon nominale, la logique CAS travaille sur un cycle de une seconde ,les fonctions de la logique CAS utilisées pour assurer l'anti-abordage apparaissent sur la figure 6 ,il existe de nombreux paramètre notamment relatifs aux géométries de conflit qui n'entrant pas dans le cadre de ce document .

Une description détaillée de cette logique figuré dans les MOPS (Minimum Operational Performance Standards)DO-185A .



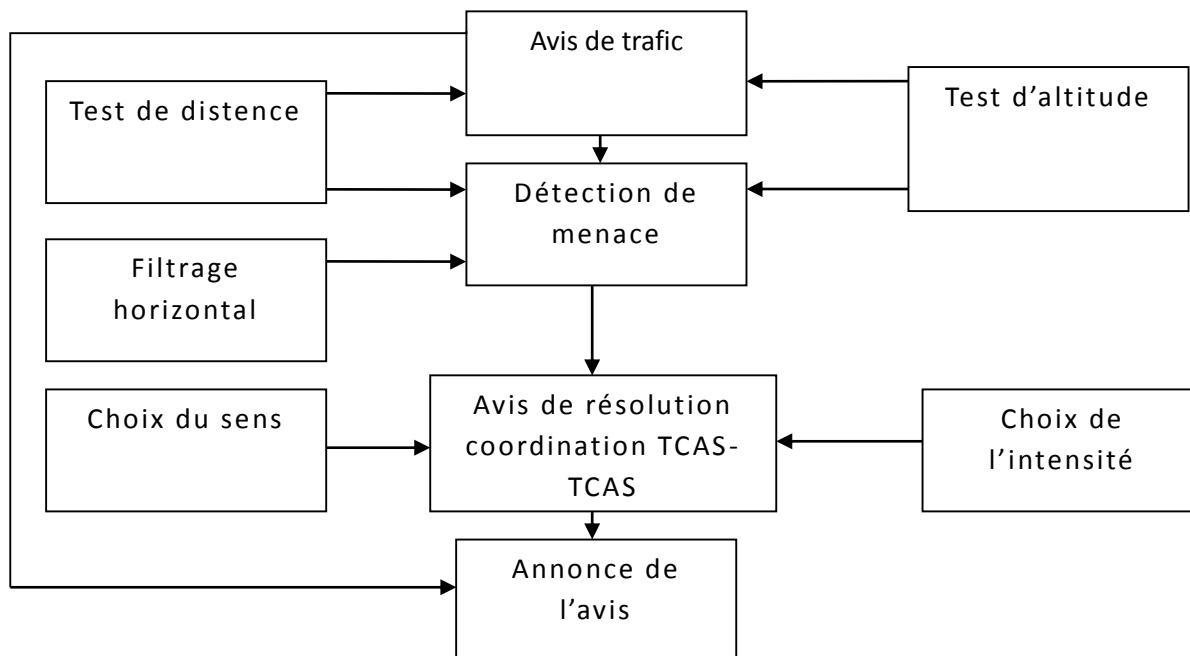


Figure III.6: Fonction de la logique CAS

### III.7.1.Poursuite

A partir des informations de surveillance (distance oblique, gisement et altitude) fournies chaque seconde (toutes les cinq secondes en cas de « surveillance réduite »), la logique CAS calcule la vitesse de rapprochement de chaque intrus, afin de déterminer le temps en secondes avant le CPA ainsi que la distance horizontale à ce point. Si l'intrus est équipé d'un transpondeur codant l'altitude, la logique CAS prévoit l'altitude de l'intrus au CPA, la vitesse verticale de l'intrus est obtenue en mesurant le temps qui lui est nécessaire pour franchir des tranches d'altitude de 100 ou 25 ft selon le type d'information reçue.

La logique CAS utilise les données d'altitude pression de l'avion de référence, soit directement via le codeur altimétrique, soit via le calculateur de bord. Elle détermine ainsi l'altitude de l'avion, sa vitesse verticale et l'altitude relative de chaque intrus.

Les sorties des algorithmes de poursuite (distance oblique, distance horizontale au CPA, vitesse de rapprochement et altitude relative des intrus) alimentent les algorithmes d'avis de trafic et de détection de menace.

En dessous de 1700 ft AGL, la logique CAS estime la hauteur de l'intrus par rapport au sol en utilisant son altitude pression, son radioaltimètre et l'altitude pression des intrus.

.comme indiqué sur la figure 7 ,si cette hauteur est inférieure à 380 ft ,le TCAS considère que l'intrus est au sol et ne génère donc pas d'alarme TA ou RA

### III.7.2.avis de trafic

La fonction d'avis de trafic utilise un algorithme simplifié comparable à la logique de génération des RA avec des seuils d'alarme plus importants (tableau2).

Les seuils verticaux de déclenchement pour les TA sont de 850 ft au-dessus et au-dessous de l'avion équipé TCAS (1200ft au-delà du FL420).

Un avion ne transmettant pas son altitude provoquera la génération d'un TA si le test de distance seul est satisfait mais sur la base des valeurs de TAU de RA.

Si un avion intrus ne fait pas l'objet d'un TA mais se situe à moins de 6NM et 1200ft de l'avion équipé TCAS, il sera affiché comme trafic proche.

### III.7.3.détection de menace

Les tests de distance et d'altitude sont exécutés à chaque cycle pour tout intrus transmettant son altitude, tous deux doivent être satisfaits pour qu'un intrus soit déclaré menace.

On rappelle que les seuils horizontaux d'alarme ne sont pas basés sur la distance à un instant donné mais sur le temps à venir avant le CPA ,ces valeurs dépendant donc des vitesses et des caps des avions impliqués ainsi que de niveau de sensibilité ,pour un intrus donnée le « volume de protection » théorique autour de l'avion équipé TCAS est en général une sphère tronquée avec un rayon égale à la norme du vecteur vitesse relatif multiplié par le temps TAU .

Le volume est également tronqué latéralement par une fonction du filtrage horizontal ou MDF (Miss Distance Filtre), le MDF a pour objet de diminuer le nombre de fausses alarmes pour des géométries où la distance horizontale prévue au CPA est suffisante d'un point de vue anti-abordage .le filtre est théoriquement efficace pour des valeurs supérieures à deux fois DMOD.

Dans un cas général, pour des géométries de conflit avec une vitesse verticale de rapprochement faible ,les seuils verticaux de déclenchement pour les RA variant entre 600 et 800 ft suivant l'altitude de l'avion de référence ,pour une vitesse verticale de rapprochement élevé ,un RA est déclenché dès que l'estimation de l'instant où l'intrus et l'avion de référence seront à la même altitude ,est inférieure aux valeurs de TAU (tableau 2).

Suivant la géométrie du conflit et la qualité de la poursuite verticale de l'intrus, le RA peut être différé, voire non généré. aucun RA ne peut être généré pour des avions ne transmettant pas leur altitude.

### III.7.4. Avis de résolution

#### III.7.4.1. Choix de l'avis

Quand une menace est déclarée, le TCAS utilise un processus en deux étapes pour choisir le RA. Dans un premier temps, la logique CAS sélectionne le sens du RA (évitement vers le haut ou vers le bas). La logique modélise les résultats de la poursuite verticale et horizontale, la figure 8 montre les trajectoires qui résultent d'une montée ou d'une descente de l'avion TCAS à 1500ft/mn en tenant compte d'une réaction standard du pilote (temps de réaction de 5 secondes et accélération verticale de 0.25g), la logique CAS calcule la distance verticale prévue dans chacun des deux cas et sélectionne le sens qui assure le plus grand espacement vertical.

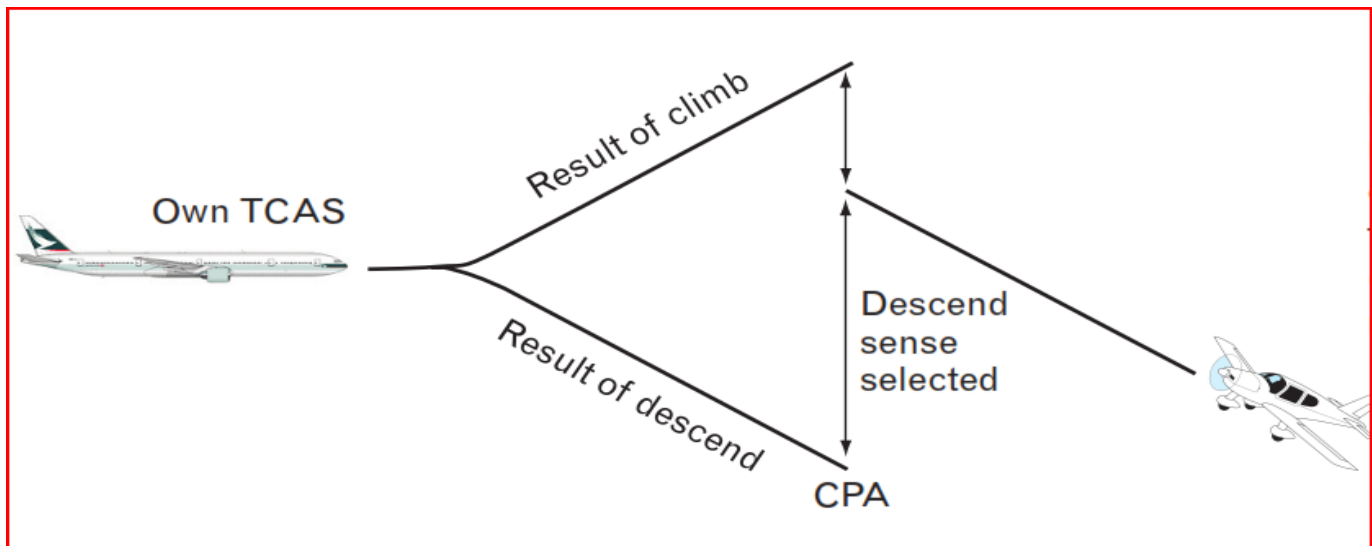
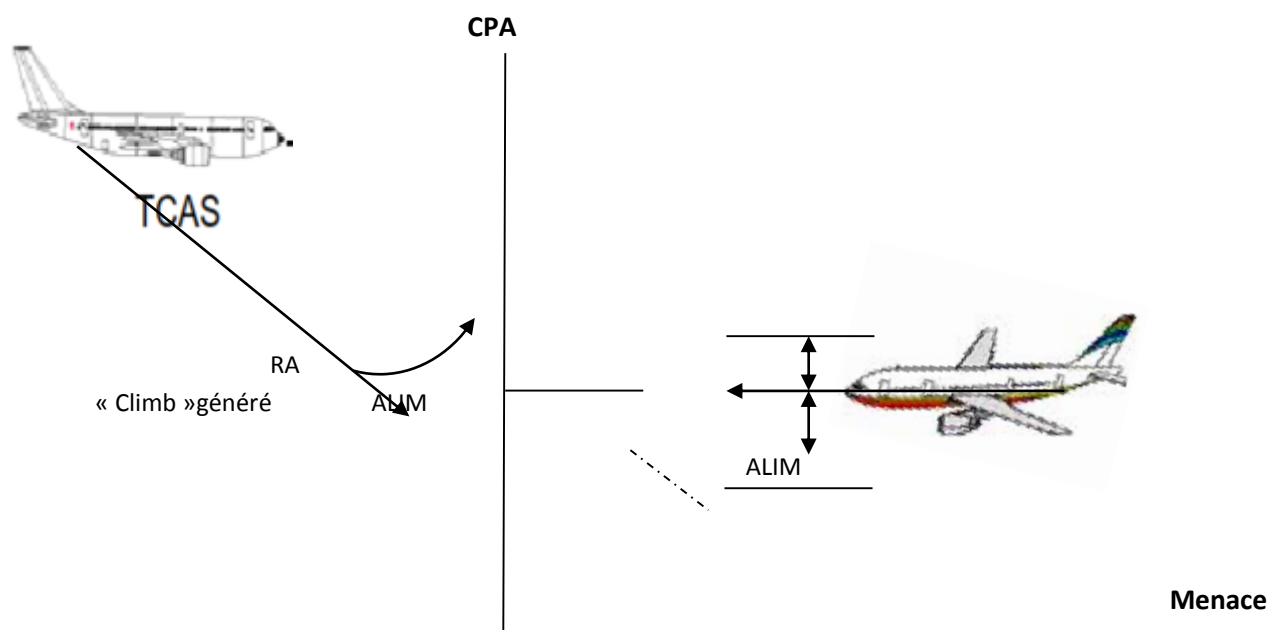


Figure III.7: Choix du sens du RA

Dans le cas où un croisement vertical est prévu avant le CPA, la logique CAS sélectionnera le sens qui évite ce croisement pourvu que la distance verticale résultante soit suffisante au CPA.

La (figure III.8) illustre ce cas, la distance verticale de sécurité souhaitée connue sous le nom d'ALIM varie de 300 à 600 ft (700 ft au delà du FL 420) en fonction de l'altitude de l'avion de référence, si ALIM ne peut être assurée, un RA avec croisement d'altitude est choisi.

Des mécanismes de retardement visent toutefois à diminuer au maximum le nombre de croisement en altitude.



**Figure III.8 : RA sans croisement d'altitude**

La deuxième étape dans le choix du RA consiste à sélectionner son intensité, la manœuvre choisie est celle qui perturbe le moins la vitesse verticale de l'avion tout en assurant la distance verticale de sécurité. Des avis ne modifiant pas la vitesse verticale de l'avion (avis préventif) peuvent être générés si les critères d'ALIM sont déjà satisfaits. Les différents avis possibles et les taux de montée /descente associés sont listés dans le (Tableau III.2).

| Sens vers le haut             |                | Sens vers le bas |                              |
|-------------------------------|----------------|------------------|------------------------------|
| Taux requis                   | Avis           | Avis             | Taux requis                  |
| +2500 ft/mn                   | Increase Climb | Increase Descent | -2500ft /mn                  |
| +2500 ft/mn                   | Climb          | Descent          | +2500 ft/mn                  |
| +2500 ft/mn                   | Reversal Climb | Reversal Descent | +2500 ft/mn                  |
| +2500 ft/mn                   | Crossing Climb | Crossing Descent | +2500 ft/mn                  |
| +4400 ft /mn > V > +1500ft/mn | Maintain Climb | Maintain Descent | -4400ft /mn > V > -1500ft/mn |
| V > 0ft/mn                    | Dont Descend   | Dont Climb       | V > 0ft/mn                   |

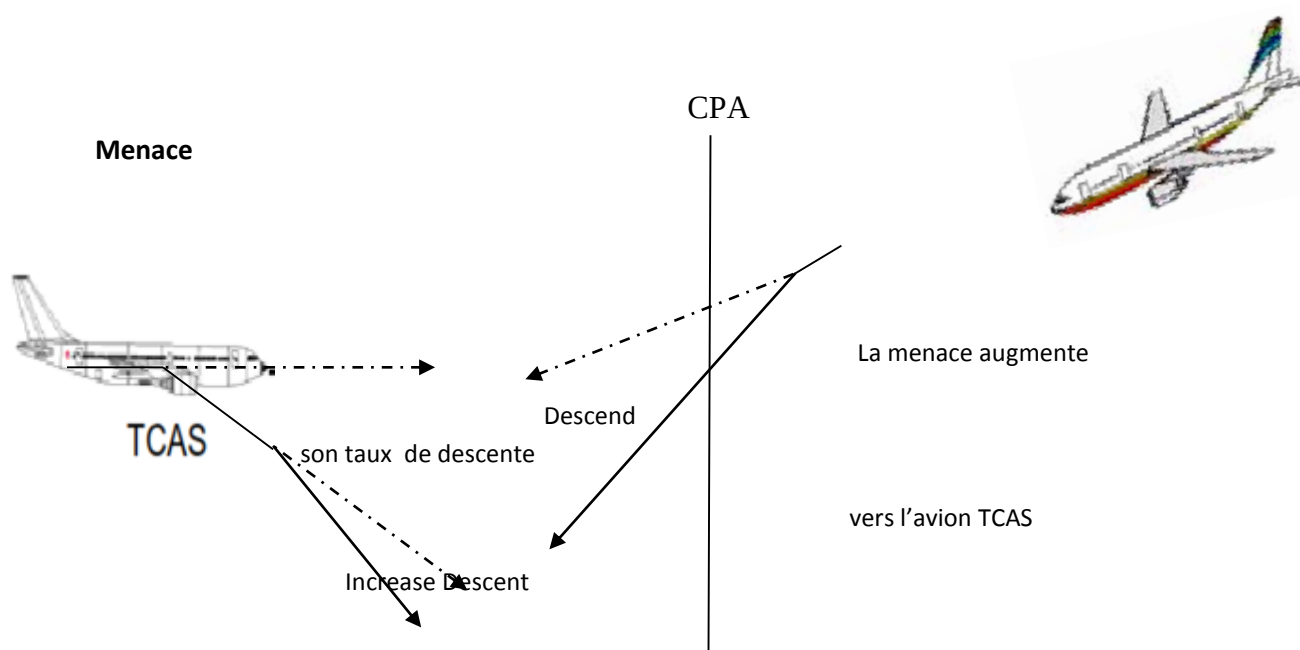
|                         |                                  |                                 |                         |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| $V > -500\text{ft/mn}$  | Dont Descend $> 500\text{ft/mn}$ | Dont Climb $> 500\text{ft/mn}$  | $V > +500\text{ft/mn}$  |
| $V > -1000\text{ft/mn}$ | Dont Descend $> 500\text{ft/mn}$ | Dont Climb $> 1000\text{ft/mn}$ | $V > +1000\text{ft/mn}$ |
| $V > -2000\text{ft/mn}$ | Dont Descend $> 500\text{ft/mn}$ | Dont Climb $> 2000\text{ft/mn}$ | $V > +2000\text{ft/mn}$ |

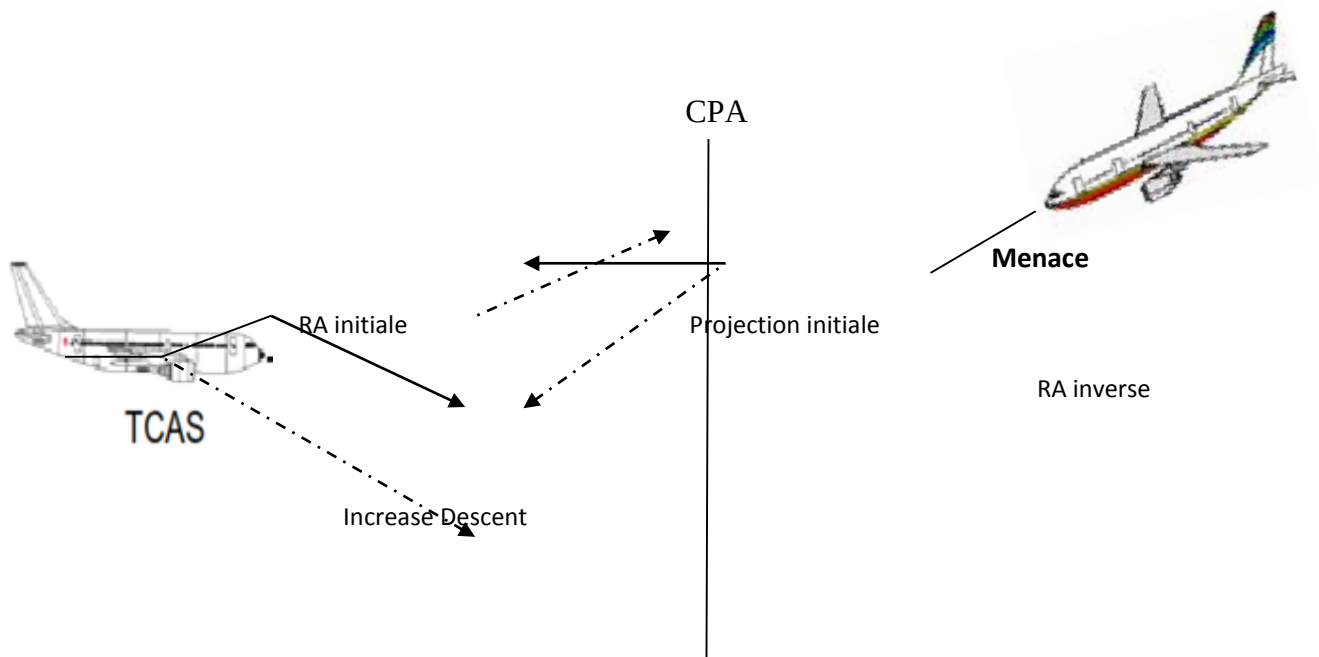
Tableau III.2 : les avis de résolution

### III. 7.4.2.Suivi du RA par la logique CAS

Durant tout le conflit, l'intensité de l'avis est évaluée et peut être modifiée soit par renforcement si le conflit le nécessite, soit par affaiblissement si la menace s'éloigne, l'affaiblissement du RA a pour objet de démunir la déviation verticale.

Après le choix de RA, il peut arriver que la menace effectue une manœuvre verticale qui déjoue la solution proposée, l'avion équipé TCAS devra alors : soit accroître son taux de montée/descente de 1500 à 2500 ft/mn, soit inverser le sens de la manœuvre. (TCAS II V7.1), une seule inversion de sens est autorisée au cours d'un même conflit. Des exemples de ces manœuvres (augmentation de taux ou inversion du sens) sont données dans les figures 9 et 10.



**Figure III.9 : RA avec augmentation de taux de descente****Figure III.10 : RA avec inversion de sens**

La logique CAS peut inhiber les RA « climb » ou « increase climb » dans certains cas en raison des limitations de performance de l'avion à haute altitude ou en configuration d'atterrissage. Ces limitations sont connues de la logique qui choisit alors un RA plus adéquat.

Les limitations sont fixées au préalable par les autorités de certification en fonction du type d'avion. Pour tous les type d'avion, les avis « increase descent » sont inhibés en dessous de 1450 ft AGL, tous les RA sont inhibés en dessous de 1000 ft AGL.

### III.7.4.3. Logique multi-intrus

Le TCAS est capable de gérer une situation multi-intrus soit en essayant de résoudre la situation avec un RA qui assure seul la distance verticale de sécurité avec chacune de menaces, soit en sélectionnant un RA qui conjugue une restriction à monter et une restriction à descendre.

#### **III.7.4.4.Fin de RA**

Dès que l'intrus n'est pas plus une menace (lorsque la distance entre l'avion de référence et l'intrus augmente ou lorsque la logique estime que la distance au CPA sera suffisante), l'avis de résolution est annulé et une annonce de fin de conflit est faite. Le pilote doit alors retourner à sa clairance initiale.

#### **III.7.4.5 .Coordination TCAS-TCAS**

Dans un conflit TCAS-TCAS, chaque avion interroge l'autre via la liaison Mode S afin de choisir des avis de résolution complémentaires. Les interrogations de coordination utilisent les mêmes fréquences (1030/1090Mhz) que les interrogations de surveillance et sont transmises au moins une fois par seconde par chaque avion durant toute la durée du RA.

Chaque avion transmet donc une interrogation de coordination à l'autre avion tant que celui-ci constitue une menace.

Les interrogations de coordination contiennent des informations sur la manœuvre que l'avion a l'intention d'effectuer vis-à-vis de la menace. Cette information est exprimée sous la forme d'un complément : si un des avions choisit un avis « vers le haut », il transmettra à l'autre avion un message qui restreindra son choix à un avis « vers le bas ».

Suite à la coordination, chaque unité TCAS choisit indépendamment l'intensité du RA en fonction de la géométrie du conflit.

Dans un conflit TCAS-TCAS, la règle de base est qu'avant de choisir le sens de RA, chaque TCAS doit vérifier qu'il n'a pas déjà reçu une intention de la menace. Si c'est le cas, le TCAS agit conformément à l'attente de l'avion menace, sinon le TCAS sélectionne le sens le plus adapté à la géométrie du conflit.

Dans la grande majorité des cas, les deux avions se voient comme menace à des instants légèrement différents, la coordination s'établit donc comme suit : le premier avion choisit le sens du RA d'après la géométrie du conflit et transmet son intention, le second avion choisit alors le sens opposé et confirme son intention complémentaire.

Toutefois, il peut arriver que les deux avions se voient simultanément comme menace et choisissent tous les deux le sens du RA en fonction de la géométrie, dans ce cas il existe une probabilité pour que les deux avions sélectionnent le même sens. Si cela se produit, l'avion avec l'adresse Mode S la plus élevée détecte l'incompatibilité et inverse son choix.



### III.7.5. Annonce de l'avis

La logique CAS positionne les signaux qui commandent les alarmes vocales et l'affichage des différentes informations. La logique inhibe les alarmes vocales en dessous de 400 ft AGL.

Une priorité est donnée aux alarmes vocales liées au décrochage, au GPSW (Ground Proximity Warning System),

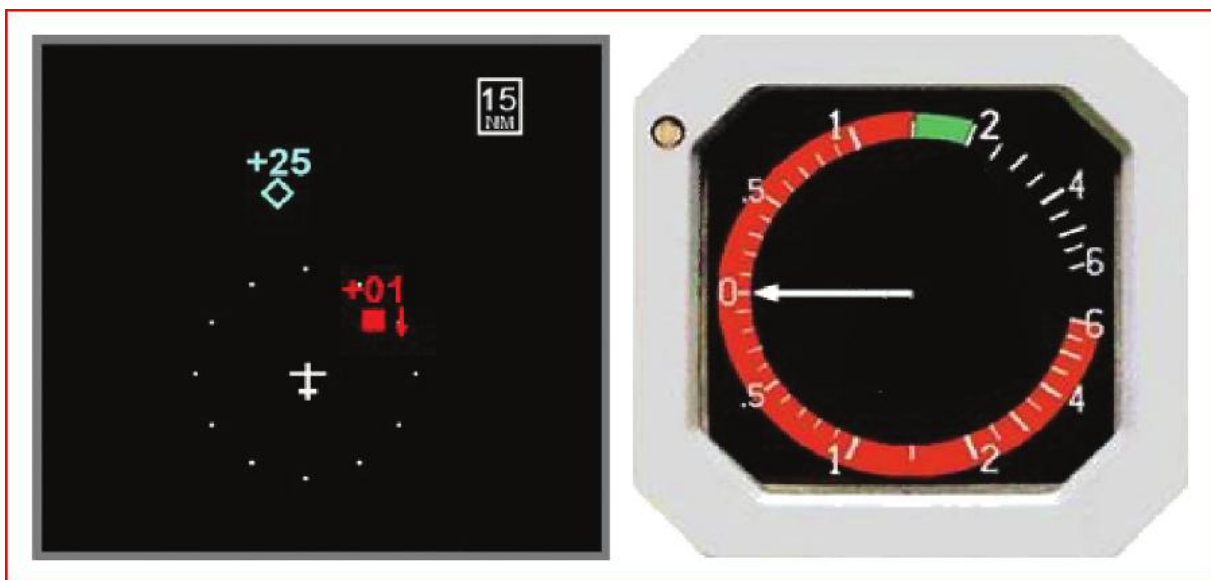


Figure III.11 : Affichages des TA et RA sur un écran TCAS

### III.7.6. Communications AIR-SOL

Le TCAS peut utiliser de données Mode S pour transmettre des comptes-rendus de RA aux stations sol Mode S ; de plus, durant un RA, le TCAS génère toutes les huit secondes une émission spontanée contenant des informations relatives à l'avis en cours.

### III.8. Conclusion :

L'utilisation du TCAS II à travers le monde au cours des 10 dernières années a démontré l'efficacité du TCAS II comme un système anticollision. Au cours de cette période, les

procédures d'utilisation du TCAS II ont été développées et afin de s'assurer que le fonctionnement du TCAS fournit aux aéronefs une protection efficace anticollision sans avoir des effets inutiles sur les contrôleurs responsables de la séparation des aéronefs.

L'industrie de l'aviation a travaillé pour développer, tester, certifier et mettre en œuvre la version du TCAS 7.1

La Version 7.1 est maintenant mise en service dans le monde entier. Les caractéristiques du système fournissent une amélioration significative de la sécurité des vols, ce qui a maintenant atteint une reconnaissance universelle dans le monde de l'aviation. De nombreux pays ont rendu obligatoire le transport de TCAS II, et l'OACI a proposé un mandat mondial du TCAS II Version 7.1 .

Cependant, il faut être conscient que le TCAS n'est pas un système parfait. TCAS ne peut pas empêcher tous les risques de collision et le système peut, de façon marginale, induire un risque supplémentaire. Par conséquent, il est essentiel que les procédures ATC soient conçues pour fournir la sécurité des vols sans s'appuyer sur l'utilisation du TCAS et que les pilotes et les contrôleurs soient bien versés dans les capacités et les limites de TCAS .



### III.4. Principe de fonctionnement :

Des processus de TCAS sont organisés en plusieurs éléments, suivant les indications du( figure III.6) . D'abord, les sondes de surveillance rassemblent les informations sur les avions (par exemple, sa position et vitesse relatives) et passent l'information à un ensemble des algorithmes pour déterminer si une menace de collision existe.

Si une menace est identifiée, un deuxième ensemble d'algorithmes de résolution de menace détermine une réponse appropriée. Si l'avion d'intrus a également un TCAS, la réponse est coordonnée par une liaison de transmission de données pour s'assurer que chaque avion manœuvre dans une direction compatible. Le manœuvre produit et montré par TCAS sont traités comme bulletins de renseignements aux équipages des aéronefs, qui prennent alors la commande manuelle des avions et de la manœuvre en conséquence. Des pilotes sont formés pour suivre des bulletins de renseignements de TCAS à moins que faire ainsi compromette la sûreté.

Les sections suivantes fournissent plus de détail sur les méthodes employées pour exécuter la surveillance, la détection de menace, et la résolution de menace.

TCAS se fonde sur une combinaison des sondes de surveillance pour rassembler des données sur l'état d'avions et un ensemble d'algorithmes qui déterminent la meilleure manœuvre que le pilote devrait faire pour éviter une collision

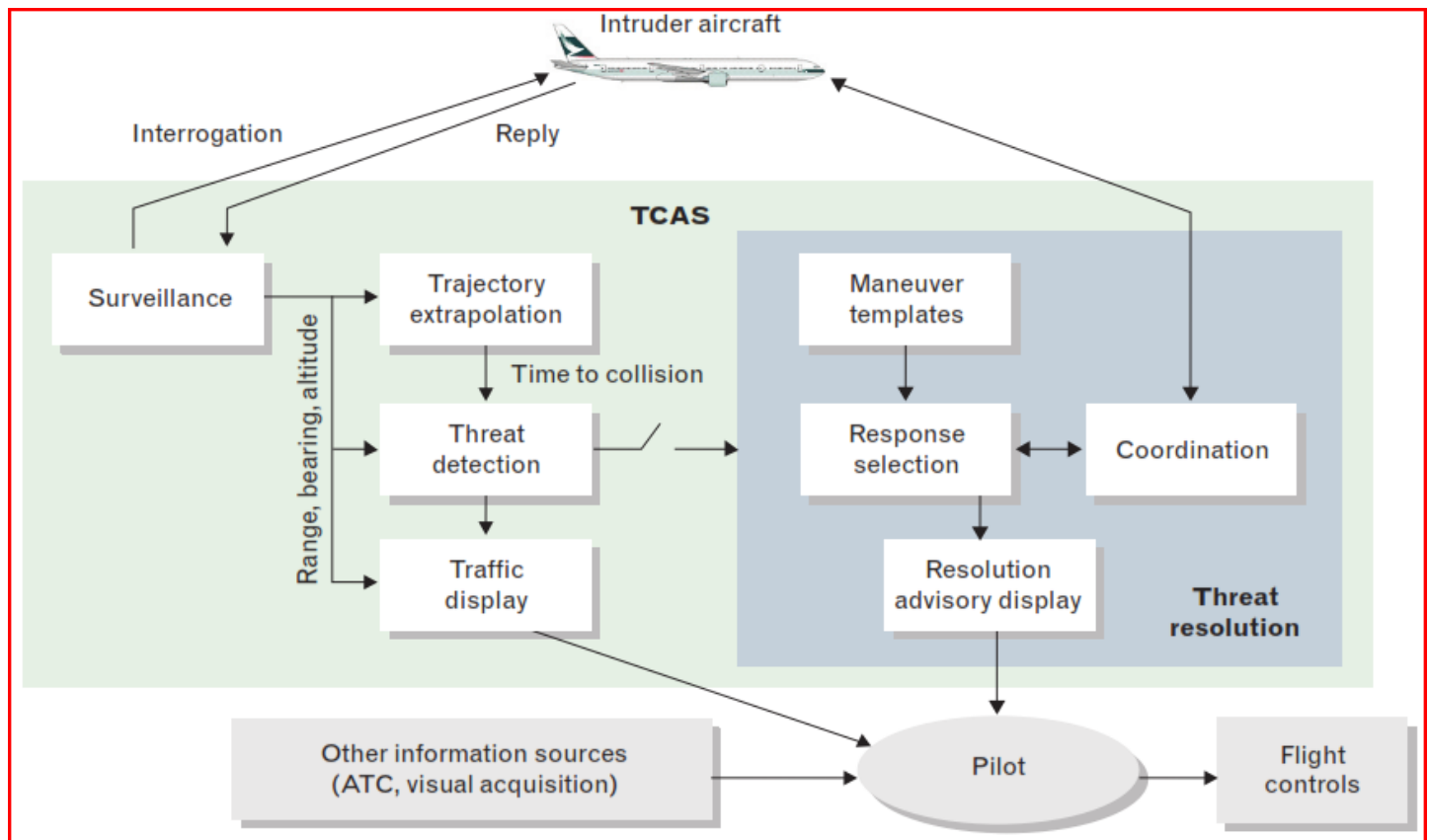


Figure III.6 : processus de système TCAS

### III.4.1. Surveillance

La surveillance de trafic aérien est basée sur les interrogations air-air ont annoncé une fois par seconde de antennes sur les avions de utilise la même fréquence (1030 MHz) et la forme d'onde que les sondes au sol de contrôle du trafic aérien .

Les transpondeurs sur l'aéronef à proximité reçoivent ces interrogations et envoient les réponses à 1090 MHz. Deux types de transpondeurs sont actuellement utilisés:

Les transpondeurs Mode S, qui ont un identifiant unique de 24 bits, et le radar de contrôle du trafic aérien système de balises (ATCRBS) transpondeurs, qui n'ont pas la capacité d'adressage unique. Pour suivre L'ATCRBS , TCAS transmet "ATCRBS seule ALL-CALL « interrogatoires une fois par seconde » tous ATCRBS aéronef dans une région autour de l'aéronef TCAS réponde.

Contrairement , les aéronefs équipée de mode- S sont suivis avec une interrogation sélective une fois par seconde dirigée à cet aéronef spécifique, seulement qu'un appareil répond.

L'interrogation sélective réduit la probabilité de réponses tronquées ou qui se chevauchent, et permet également de réduire l'encombrement des fréquences à 1030/1090 MHz.

Les réponses de la plupart des ATCRBS et tous les transpondeurs mode S contiennent l'altitude actuelle de l'aéronef au dessus du niveau de la mer. TCAS calcule la distance oblique sur la base du temps d'aller-retour du signal et estime le palier de l'intrus en utilisant une antenne directionnelle à quatre éléments. Alpha-bêta et filtres non-linéaires sont utilisés pour actualiser le barème, et les estimations d'altitude ainsi que pour estimer le taux de gamme et le niveau relatif d'altitude.

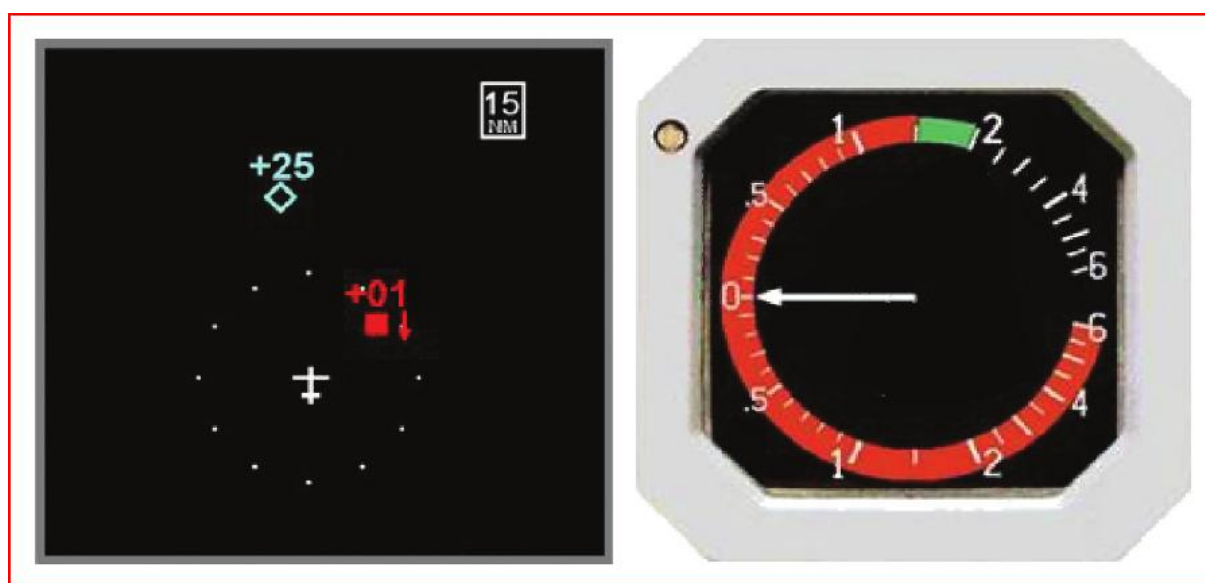
Les transpondeurs mode fournissent également d'autres capacités de liaison de données. Tous les aéronefs de TCAS sont équipés de transpondeurs Mode S pour que cette liaison de données peut coordonner le manœuvres d'évitement. L'un des défis les plus difficiles dans le développement du TCAS est un équilibre entre les exigences de surveillance TCAS et le contrôle du trafic aérien au sol

En conséquence, les transpondeurs consacrent maintenant plus de temps à répondre aux TCAS et moins de leur temps à répondre à des interrogations de base. En raison de préoccupations au sujet de l'encombrement des fréquences, TCAS utilise des algorithmes de brouillage limiter à réduire la concurrence entre TCAS et les capteurs au sol . Chaque seconde, TCAS détermine le nombre et la distribution des autres unités de TCAS dans son voisinage. Avec cette information, le TCAS peut réduire sa puissance d'émission maximale (c-à-d réduire sa gamme de surveillance) en limitant l'impact sur les transpondeurs de voisinage et sur les capteurs au sol .

Des Exigences dans ce domaine sont très strictes , assurer que, pour tout transpondeur donné, pas plus de 2% de son temps disponible est consommé dans les communications avec toutes les unités de TCAS proximité. Fait que le TCAS nécessite une plage de surveillance minimale pour assurer une protection adéquate de prévention des collisions, cependant, une limite est imposée sur la quantité de la puissance TCAS d'émission peut être réduite. En conséquence, il est possible pour un transpondeur à l'utilisation dépasse la valeur de 2% dans l'espace aérien haute densité , le TCAS a été l'objet d'un suivi dans le monde entier, et les résultats du suivi continuer à motiver le développement des techniques de surveillance TCAS innovantes. Beaucoup de ces techniques ont été développées pour la version 7, y compris en utilisant les systèmes d'interrogation de mode qui sont différentes pour les aéronef à distance non menaçantes que les menaces potentielles, et la transmission de séquences de puissance variable ATCRBS interrogatoires pour réduire le chevauchement entre les concentrations de ATCRBS aéronef

En plus, il s'agit d'une nouvelle technique (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast ADS-B) transmissions, réduisant ainsi TCAS interrogation .autres problèmes

affectent la capacité du TCAS pour suivre les aéronefs. Tout d'abord, certains transpondeurs ne signalent pas les informations d'altitude lorsqu'il a été interrogé. TCAS ne peut pas générer des commandes d'évitement de collision contre ces menaces. (Gros aéronefs, avions volant à proximité des grands aéroports et des avions volant au-dessus de 10.000 pieds doivent être équipés d'altitude-déclaration transpondeurs.) Deuxièmement, aéronef sans transpondeur en marche ne peut pas être détecté ou suivis par le TCAS du tout. Certains petits avions, comme les planeurs léger ne peut pas transporter de matériel électronique ou transpondeurs. Les pilotes doivent donc prendre la responsabilité de voir et d'éviter un tel trafic.



**Figure III. 7 : Affichages des TAs et RAs sur un écran TCAS**

Un écran TCAS (à gauche) indique qu'un aéronef intrus danger est d'environ 14 nautique miles d'avance et à droite de l'avion TCAS; cet avion est de 100 pieds au-dessus de l'avion TCAS et est décroissant. Un deuxième avion, d'intrusion non menaçante situé à environ 22 miles marins devant vole niveau 2500 pieds au-dessus de l'avion du TCAS. La résolution (RA) écran (à droite) indique que l'appareil est au niveau de vol (c'est à dire, la vitesse verticale de 0). TCAS instruit au pilote de monter à une vitesse de 1500 à 2000 ft / min, comme indiqué par l'arc vert. L'arc rouge sur l'écran indique les taux verticales qui ne sont pas conformes à la RA. plusieurs mesures clés pour décider si un intrus est une menace, y compris les séparations verticales estimées entre les aéronefs. Un autre paramètre, tau, représente le temps jusqu'à ce que le point d'approche entre les aéronefs les plus proche.

### III.4.2.Détection des menaces et affichage

Les Algorithmes complexes de détection TCAS commencent par des intrus classer dans l'un des quatre niveaux discrets. Pour projeter la position d'un aéronef dans l'avenir, le

système effectue une simple extrapolation linéaire basé sur la vitesse actuelle estimée de l'avion. L'algorithme utilise alors plusieurs mesures clés pour décider si un intrus est une menace, y compris les séparations verticales et obliques estimés entre les aéronefs. Un autre paramètre, tau, représente le temps jusqu'à ce que le point d'approche entre les aéronefs plus proche.

Un affichage dans le cockpit représente les appareils à proximité, indiquant leur gamme, relèvement et l'altitude relative, une flèche indique si l'intrus est montée ou en descente. Ces informations d'affichage de trafic pour aider le pilote lors de la tentative d'acquérir visuellement le trafic sur le pare-brise.

Les aéronefs non menaçants apparaissent comme des icônes de diamant creux. Si l'intrus près dans certaines limites latérales et verticales, l'icône devient un diamant solide, alerte l'équipage de conduite que le trafic est proche mais n'est pas encore une menace.

Si une collision est prévue pour avoir lieu dans les 20 à 48 prochaines secondes (selon l'altitude), le TCAS émet un avis de trafic (TA) dans le cockpit. Cet avis est sous la forme d'un message vocal, "**trafic, trafic**". L'icône de trafic change également dans un cercle jaune solide. Le TA avertit le pilote de la menace potentielle de sorte que le pilote peut chercher visuellement et de communiquer avec l'ATC de la situation. Un TA est également comme un signal préparatoire en cas de manœuvre devient nécessaire. Si la situation s'aggrave, un avis de résolution (RA) avertissement est émis de 15 à 35 secondes avant la collision (encore une fois selon l'altitude). Un RA comprend une commande sonore comme «**Climb, climb**» et un affichage graphique de la vitesse verticale de cible de l'appareil. Un pilote recevoir un RA doit débrayer le pilote automatique et le contrôle manuel de l'avion d'atteindre le taux de hauteur recommandée. La (figure III. 7) montre à la fois le trafic et RA résolutions

### III.4.3. Résolution

#### III.4.3.1. TAU

TCAS utilise le temps à aller à CPA, plutôt que la distance, pour déterminer si un TA ou une RA devraient être délivrés. TCAS utilise le temps de CPA pour déterminer la plage de tau.

Tau est une approximation de la durée en secondes, à CPA ou de l'avion étant à la même altitude. La gamme tau est égal à la distance oblique (NM) divisée par la vitesse de fermeture (nœuds) multiplié par 3600, le tau verticale est égale à l'espacement vertical (m) divisé par la vitesse verticale combinée des deux appareils (pieds / minute) \* 60.



Le Fonctionnement TCAS II est basé sur le concept de  $\tau$  pour toutes les fonctions d'alerte. Le (tableau III.1) donne les seuils de  $\tau$  TA et RA utilisées pour chaque niveau de sensibilité.

Les lignes de démarcation de la (Figure III.8) Indiquent les combinaisons de portée et taux de fermeture qui déclencherait un TA avec un  $\tau$  de 40 secondes et un RA avec un  $\tau$  25 secondes .

Cela représente la gamme de  $\tau$  utilisé dans SL5. Graphes similaires peuvent être générés pour d'autres niveaux de sensibilité

La (Figure III.9) montre les combinaisons de séparation de l'altitude et vitesse vertical qui déclencheraient TA avec un  $\tau$  vertical de 40 s et un RA avec un  $\tau$  vertical de 25 s .

Dans les épreuves où le taux de fermeture est très faible, comme le montre la (figure III.9), un aéronef intrus peut venir très proche dans la gamme sans avoir traverser les frontières gamme de  $\tau$  et donc, sans provoquer un TA ou un RA à émettre. Pour assurer la protection de ces types de mises en garde, les limites de la gamme  $\tau$  sont modifiées .

Cette modification est appelée DMOD et permet TCAS d'utiliser un seuil fixe Pour émettre des ATs et RAs dans ces rencontres de fermeture lente. La valeur de DMOD varie avec les différents niveaux de sensibilité et les valeurs utilisées pour établir des TAs et RAs sont présentés dans le (tableau III.1).

| Altitude (pied) | SL | TAU (s) |     | DMOD(NM) |      | Seuil d'altitude (pied) |          |
|-----------------|----|---------|-----|----------|------|-------------------------|----------|
|                 |    | TA      | RA  | TA       | RA   | TA                      | RA(ALIM) |
| <100            | 2  | 20      | N/A | 0,30     | N/A  | 850                     | N/A      |
| 1000-2355       | 3  | 25      | 15  | 0,33     | 0,20 | 850                     | 300      |
| 2350-5000       | 4  | 30      | 20  | 0,48     | 0,35 | 850                     | 300      |
| 5000-10000      | 5  | 40      | 25  | 0,75     | 0,55 | 850                     | 350      |
| 10000-20000     | 6  | 45      | 30  | 1        | 0,80 | 850                     | 400      |
| 20000-42000     | 7  | 48      | 35  | 1,30     | 1,10 | 850                     | 600      |
| >42000          | 7  | 48      | 35  | 1,30     | 1,10 | 1200                    | 700      |

**Tableau III.1 : Définition du Niveau de sensibilité et des seuils d'alarme**

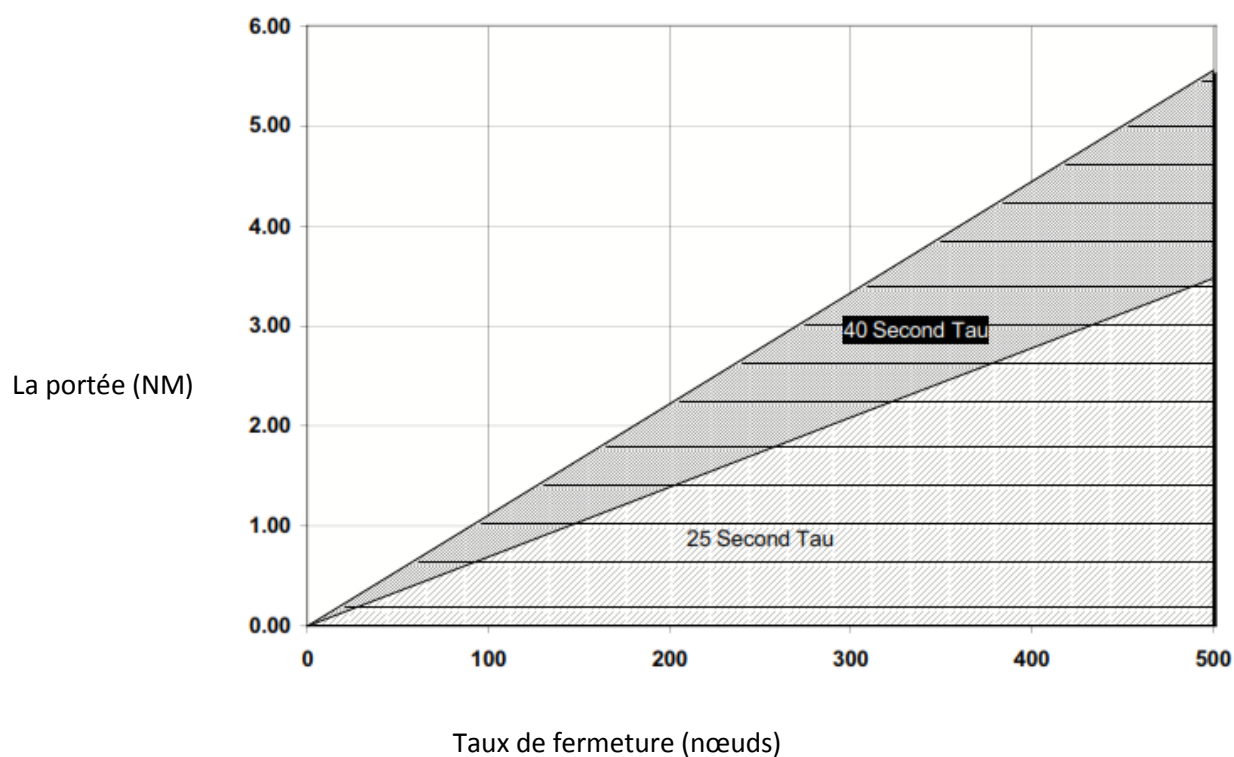


Figure III.8 : les valeurs Tau en fonction de La portée (TA / RA)

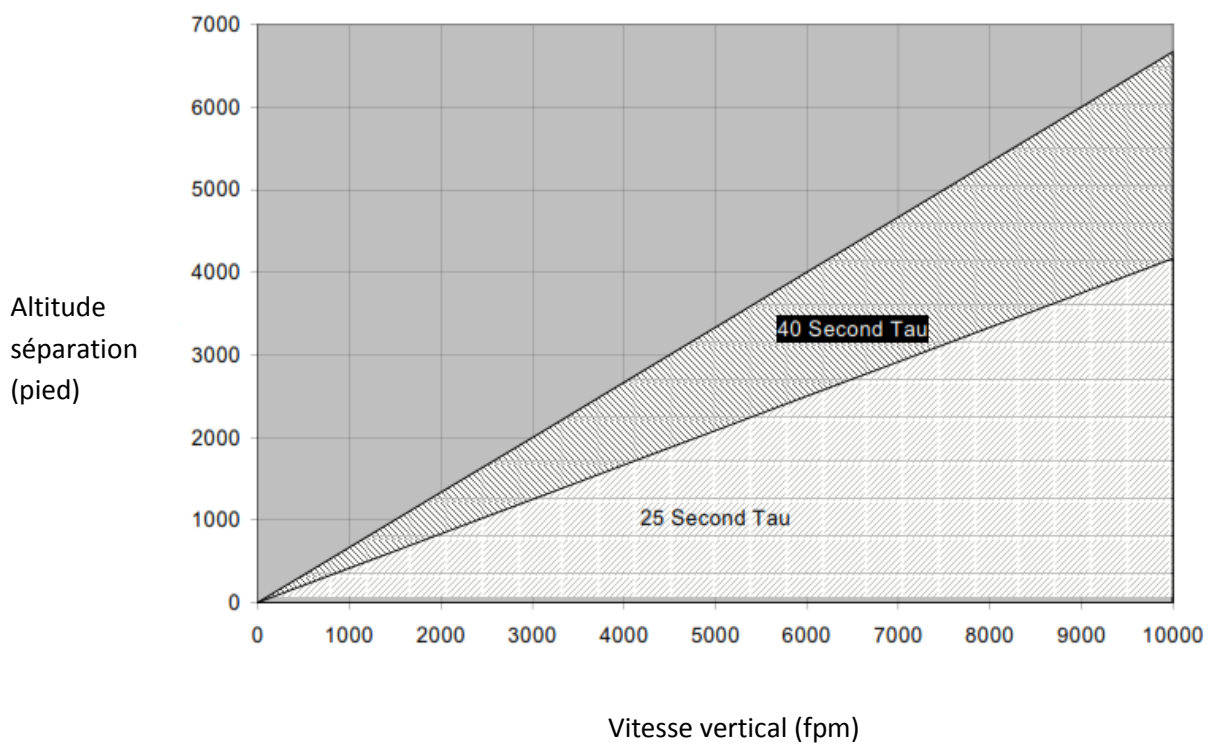
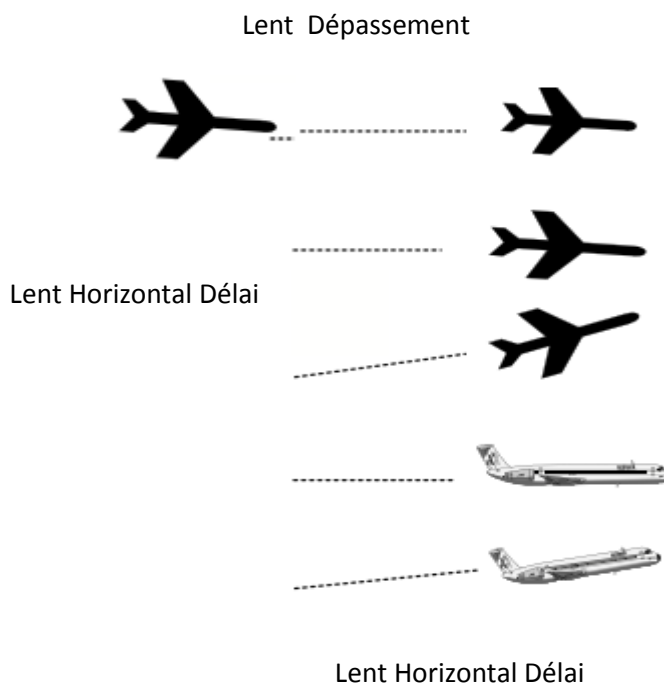


Figure III. 9 : Vitesse verticale en fonction d'altitude pour le Tau TA / RA



**Figure III.10 : de modification du  $\tau$**

### III .4.3.2. Résolution des menaces

Une fois les critères de délivrance de RA ont été respectés, des algorithmes de résolutions TCAS déterminer ce qui est approprié manœuvre pour éviter une collision. Tout d'abord, l'algorithme détermine le sens vertical de la manœuvre, qui est de savoir si l'avion doit monter ou descendre. Deuxièmement, le système figure comment le plan doit changé son altitude rapidement. TCAS ne fonctionne que dans le sens vertical; il ne sélectionne pas un manœuvres tournant, car la précision n'est pas suffisante pour déterminer si un virage vers la gauche ou la droite est appropriée.

La (figure III.11 ) montre une simplification du processus de sélection de sens. En général, deux modèles de manœuvre sont examinés:

l'une basée sur une montée, et l'autre sur une descente. Chaque modèle suppose un délai de 5 secondes avant une réaction commence, suivi d'une accélération verticale de 0,25 g jusqu'à ce qu'il atteigne une vitesse verticale cible de 1500 m / min. Dans le même temps, l'avion intrus est supposé continuer en ligne droite à sa vitesse verticale actuelle. L'algorithme de TCAS sélectionne le sens de manœuvre fournir la plus grande séparation au point le plus proche de l'approche prévue.

Si l'intrus est également équipés de TCAS, le sens de la RA est coordonné par la liaison de données mode- S afin de s'assurer que les deux appareils ne sélectionnez pas le même sens

vertical. Si les deux appareils sélectionnent simultanément le même sens, l'avion avec l'adresse numérique moins valorisés a la priorité et continuera à afficher sa RA de montée. L'avion avec l'adresse Mode- S élevée sera alors inverser son sens et afficher un RA de descente. Une fois que le sens a été sélectionné, la force de la manœuvre de RA est déterminée en utilisant des modèles de manœuvre supplémentaires (Figure 5). Chaque modèle

suppose à nouveau un délai de 5 secondes, suivie d'une accélération de 0,25 g d'atteindre la vitesse verticale cible. TCAS choisit le modèle qui nécessite le plus petit changement de taux verticale qui permet d'obtenir un minimum de séparation. Dans l'exemple représenté sur la (figure III.12), l'avion TCAS est en descente à une vitesse de 1000 m / min lors l'RA est délivré. Cinq modèles de manœuvre sont examinées, chaque modèle correspondant à une cible différente. The verticale minimale résistance manœuvre qui prévoit la séparation verticale requise d'au moins 400 pieds serait de réduire le taux de descente de 500 m / min; le pilote recevra un message sonore indiquant l'instruction. Le Taux de descente est supérieure à 500 ft / min semblent en rouge sur l'écran de la RA. Notez que dans la figure 5, si l'intrus était de 100 pieds plus élevés, puis l'RA sélectionnée serait plutôt "ne pas descendre." Si l'intrus étaient encore 100 pied plus haut, la RA choisi «monter». TCAS comprend également des algorithmes qui surveillent l'évolution de la rencontre et si nécessaire émettre un RA modifié. La force d'un RA peut être augmentée par exemple, passant de "ne pas descendre" à "monter" (taux de 1500 ft / min ) à "augmenter montée" (taux de 2500 ft / min ). Sous certaines conditions, si elle devient clair que la situation continue à se dégrader, le TCAS peut même inverser le sens de la RA, de montée à descendre, ou vice versa. La coordination de ce

renversement avec une Aéronef TCAS équipée sera également effectuée par la liaison de données du mode-S DATA-LINK, L'inversion de sens est particulièrement difficile parce que quelques secondes peuvent rester avant la collision.

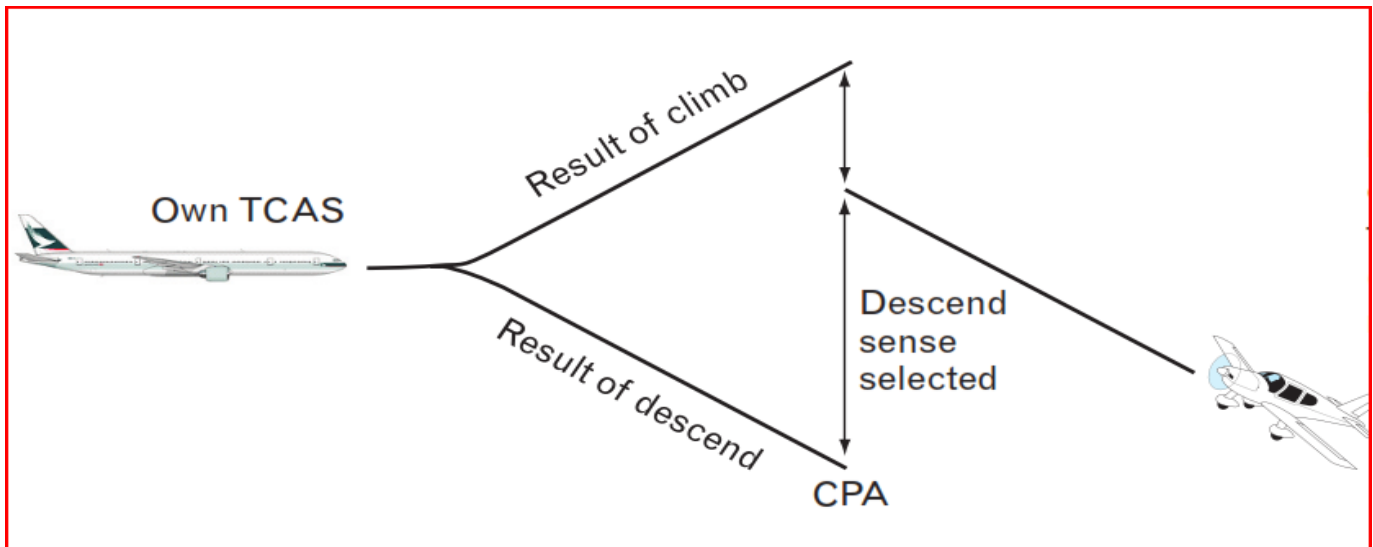


Figure III. 11 : processus de sélection de sens

L'algorithme de TCAS sélectionne la manœuvre «sens», soit pour monter ou descendre, qui offre la plus grande séparation au point le plus proche de l'approche prévue (CPA), la manœuvre correcte serait de descendre.

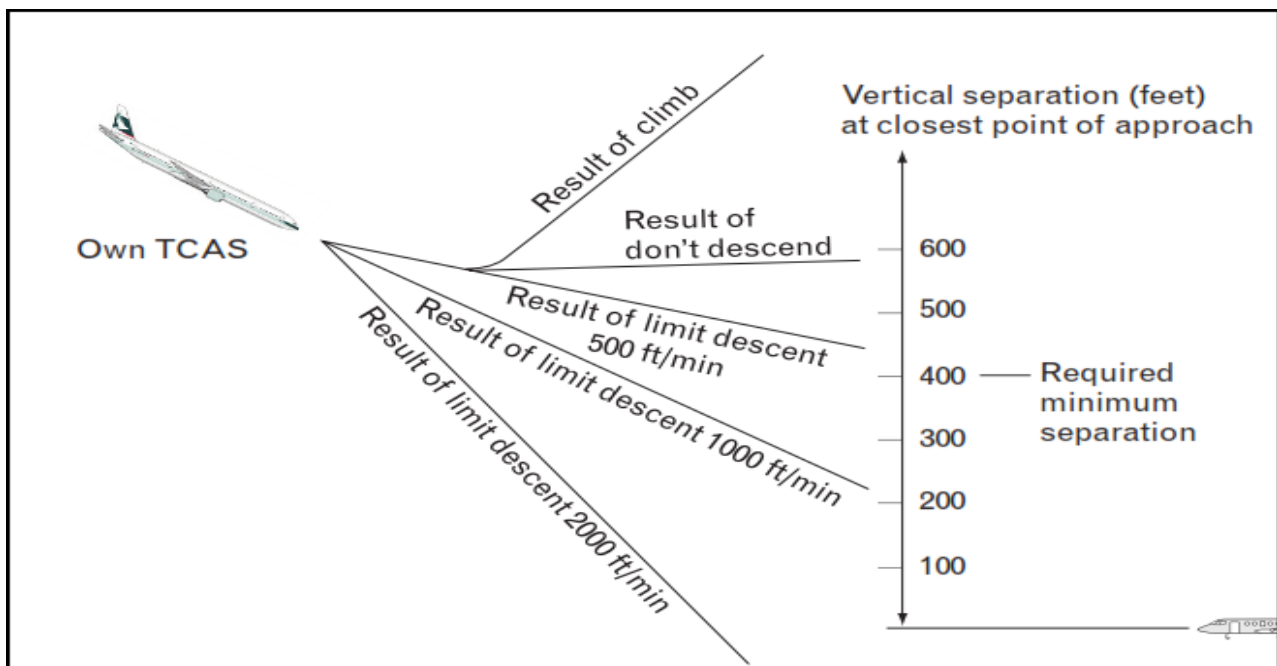


Figure III. 12 : exemple de RA « résolution advisory »

Une fois que le TCAS détermine s'il convient de recommander que l'aéronef monte ou descend, il calcule la vitesse à laquelle l'avion doit manœuvrer pour éviter la collision. TCAS sélectionne le modèle qui nécessite le plus petit changement dans la vitesse verticale qui permet d'obtenir la séparation souhaitée.

### **III.5. Conclusion :**

L'utilisation du TCAS II à travers le monde au cours des 10 dernières années a démontré l'efficacité du TCAS II comme un système anticollision. Au cours de cette période, les procédures d'utilisation du TCAS II ont été développées et afin de s'assurer que le fonctionnement du TCAS fournit aux aéronefs une protection efficace anticollision sans avoir des effets inutiles sur les contrôleurs responsables de la séparation des aéronefs.

L'industrie de l'aviation a travaillé pour développer, tester, certifier et mettre en œuvre la version du TCAS 7.1.

La Version 7.1 est maintenant mise en service dans le monde entier. Les caractéristiques du système fournissent une amélioration significative de la sécurité des vols, ce qui a maintenant atteint une reconnaissance universelle dans le monde de l'aviation. De nombreux pays ont rendu obligatoire le transport de TCAS II, et l'OACI a proposé un mandat mondial du TCAS II Version 7.1.

Cependant, il faut être conscient que le TCAS n'est pas un système parfait. TCAS ne peut pas empêcher tous les risques de collision et le système peut, de façon marginale, induire un risque supplémentaire. Par conséquent, il est essentiel que les procédures ATC soient conçues pour fournir la sécurité des vols sans s'appuyer sur l'utilisation du TCAS et que les pilotes et les contrôleurs soient bien versés dans les capacités et les limites de TCAS.

**Chapitre II: Etude des systèmes de surveillance et leur application en Algérie**

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| III.1.INTRODUCTION .....                                | 46 |
| III.3. La description technique du TCAS II .....        | 48 |
| III.4. La fonction de surveillance.....                 | 54 |
| III.4. 1. Intrus équipés de transpondeur Mode S .....   | 54 |
| III.4. 2. Intrus équipés de transpondeur Mode A/C ..... | 54 |
| III.4. 2.1. Chevauchement synchrone .....               | 55 |
| III.4. 2.2. Chevauchement asynchrone.....               | 55 |
| III.5. Limitation d'interférence.....                   | 55 |
| III.6. Principe de fonctionnement : .....               | 56 |
| III.7.La fonction CAS .....                             | 58 |
| III.7.1.Poursuite .....                                 | 59 |
| III.7.2.avis de trafic .....                            | 59 |
| III.7.3.détection de menace .....                       | 59 |
| III.7.4. Avis de résolution .....                       | 60 |
| III.7.5. Annonce de l'avis .....                        | 65 |
| III.8. Conclusion : .....                               | 66 |

## IV.1. Introduction

Dans les systèmes critiques, le logiciel est souvent considéré comme le maillon faible de la chaîne et il ya beaucoup d'histoires de bogues logiciels qui produisent des conséquences catastrophiques.

Dans le domaine de l'avionique, la vérification des logiciels comprend actuellement un examen manuel de code, les tests unitaires, les tests d'intégration de logiciel et matériel et les tests de validation.

Ces différentes tâches offrent une raisonnable confiance en termes de correction, de fiabilité et de performance. Les examens du code consistent en la lecture et de discussion, et aider à la



vérification des affirmations provenant de propriétés critiques pour la sécurité. Les tests unitaires consiste à exécuter des morceaux de code (unités) dans l'isolement du reste du système.

Un test soit réussite ou échec est produit par une procédure complexe de vérifier les résultats des calculs. Pour tester les unités de logiciels dans l'isolement, les dérivations doivent être créées pour remplacer les appels de fonctions réelles. Les tests d'intégration du code visent à tester l'interaction entre les unités. Les tests d'intégration matérielle consistent à exécuter le code dans son environnement opérationnel et physique. Pour les logiciels d'avionique, cela signifie l'exécution de code compilé de manière croisée sur des cibles embarquées.

Dans notre travail, nous explorons les possibilités de programmation pour automatiser une partie du processus de vérification du code TCAS II version 7.1.

Le 16 Décembre 2011, la Commission européenne a publié la mise en œuvre de la règle 1332/2011 rendant obligatoire le transport de l'ACAS II de la version 7.1 dans l'espace aérien de l'Union européenne à partir du 1er Décembre 2015 tous les avions actuellement équipé de la version 7.0 et de 1 Mars 2012 par tous les nouveaux avions ayant une masse maximale au-dessus de 5700 kg au décollage ou une capacité en sièges passagers plus de 19.

### IV.2.1.Question de sécurité de la version 7.0

Depuis son introduction en Europe en 2000, le TCAS II version 7.0 a fait l'objet d'un suivi. Au cours d'analyse enregistrées et des événements rapportés, de nombreux cas ont été détectés dans lesquelles les pilotes n'ont pas répondu correctement à la RA « Adjust vertical speed, Adjust», la vitesse verticale a augmenté plutôt que diminué.

En outre, il ya eu aussi un certain nombre de cas dans lesquels TCAS II version 7.0 n'a pas réussi à inverser une RA quand deux avions convergent restait moins de 100 pieds. Ce scénario de type serait produit quand un avion n'est pas suite de la RA ou n'est pas équipé d'un TCAS II et fait suite à une instruction de l'ATC ou effectue une manœuvre d'évitement sur la base de l'acquisition visuelle.

### IV.2.2.Solution de la version 7.1 : nouvelle « Level off, level off » RA

Pour éviter la réaction des pilotes incorrects, dans la version 7.0 du RA " Adjust vertical speed, adjust " a été remplacé par un nouveau " Level off, level off " RA qui nécessite une réduction de la vitesse verticale à 0 ft / min. Ce niveau de vol doit être atteint rapidement, pas au niveau de vol suivant (par exemple, FL200, FL210, etc). Le " Level off, level off " RA peut être délivré à titre d'RA initial.

En outre, le «Level off, level off " RA permet de minimiser les écarts d'altitude induites par le TCAS, réduisant ainsi l'impact sur les opérations ATC.

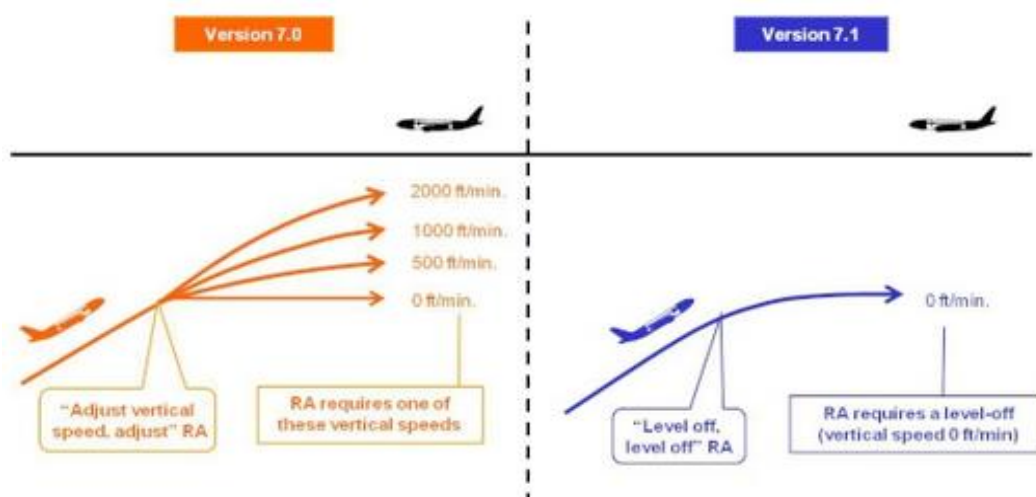


Figure IV.1 : La nouvelle solution « level off level off »

### IV.2.3.L'amélioration de la logique d'inversion

Une fonctionnalité a été ajoutée à la version 7.1 du TCAS II logique qui veille au respect de la RA dans les rencontres coordonnées (c'est à dire lorsque les deux appareils sont équipés d'un TCAS II). Lorsqu'il est détecté que l'aéronef ne répond pas correctement à une RA, un RA d'inversion sera délivré à l'avion qui manœuvre conformément à la RA. Dans les rencontres d'équipage simples (c'est à dire quand un seul avion est équipé d'un TCAS II), la version 7.1 sera reconnaître la situation et publiera un renversement si les mouvements d'aéronefs non équipés sont dans le même sens vertical que l'avion équipé d'un TCAS II.

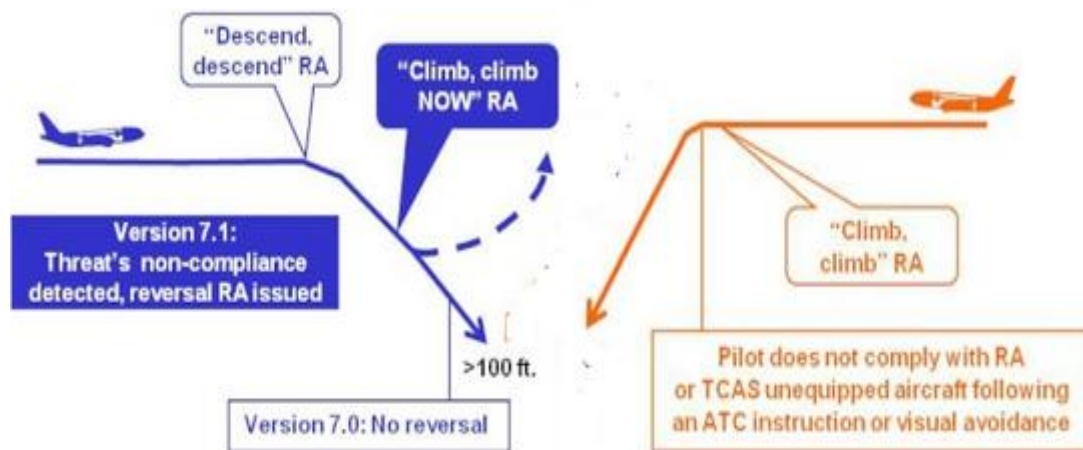
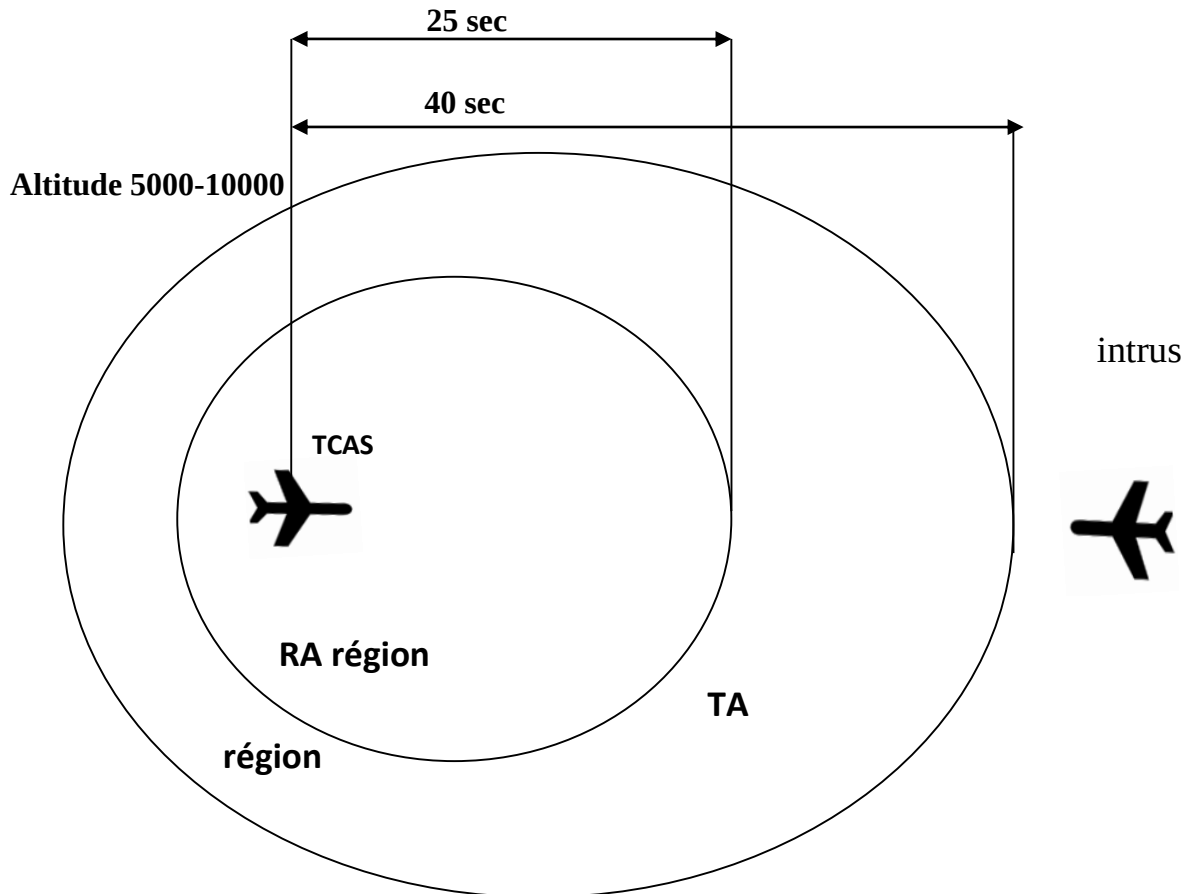


Figure IV.2 : La nouvelle solution « Climb Climb now »

### IV.3. Vérification du code source

En cas de menace de collision le TCAS II V.7.1 estime le temps restant jusqu'à ce que les deux avions atteignent le point d'approche le plus proche (CPA) et présente deux principaux niveaux d'alerte. Comme le montre la (figure IV. 3), lorsque l'aéronef intrus entre dans une zone protégée, le TCAS émet un (TA) pour informer le pilote de menace potentielle. Si le risque de collision augmente alors un avis de résolution (RA) est délivré, fournir au pilote une manœuvre proposée qui est susceptible pour résoudre le conflit. Les RA émis par le TCAS II V.7.1 sont

actuellement limitées au plan vertical (soit monter ou descendre) et leur calcul dépend de temps aller à CPA, portée et altitude de l'intrus.



**Figure IV.3 : TCAS alarme**

Il existe de nombreuses implémentations de TCAS, mais la création du code source de ces implémentations propriétaires n'est pas facile.

Ce code source est responsable de l'émission des avis de résolution. Le composant est composée de 174 lignes de code C++.

Le code contient des conditions imbriquées, les opérateurs logiques, définitions, et des appels de fonctions, mais pas, des pointeurs ou des structures allouées dynamiquement.

la (Figure IV.4) représente l'organigramme de la fonction de plus haut niveau `Alt_sep_test` qui calcule les RA. Cette fonction prend des variables en entrée, y compris `tcas_avion_alt` l'altitude de l'avion équipés de TCAS, `intrus_avion_Alt` l'altitude de la «menace», `positive_RA_Alt` `Seuil` un seuil de séparation adéquat, `separation_haut` l'altitude de séparation estimée résultant d'une manœuvre vers le haut et `separation_bas` l'altitude de séparation estimée résultant d'une manœuvre vers le bas .

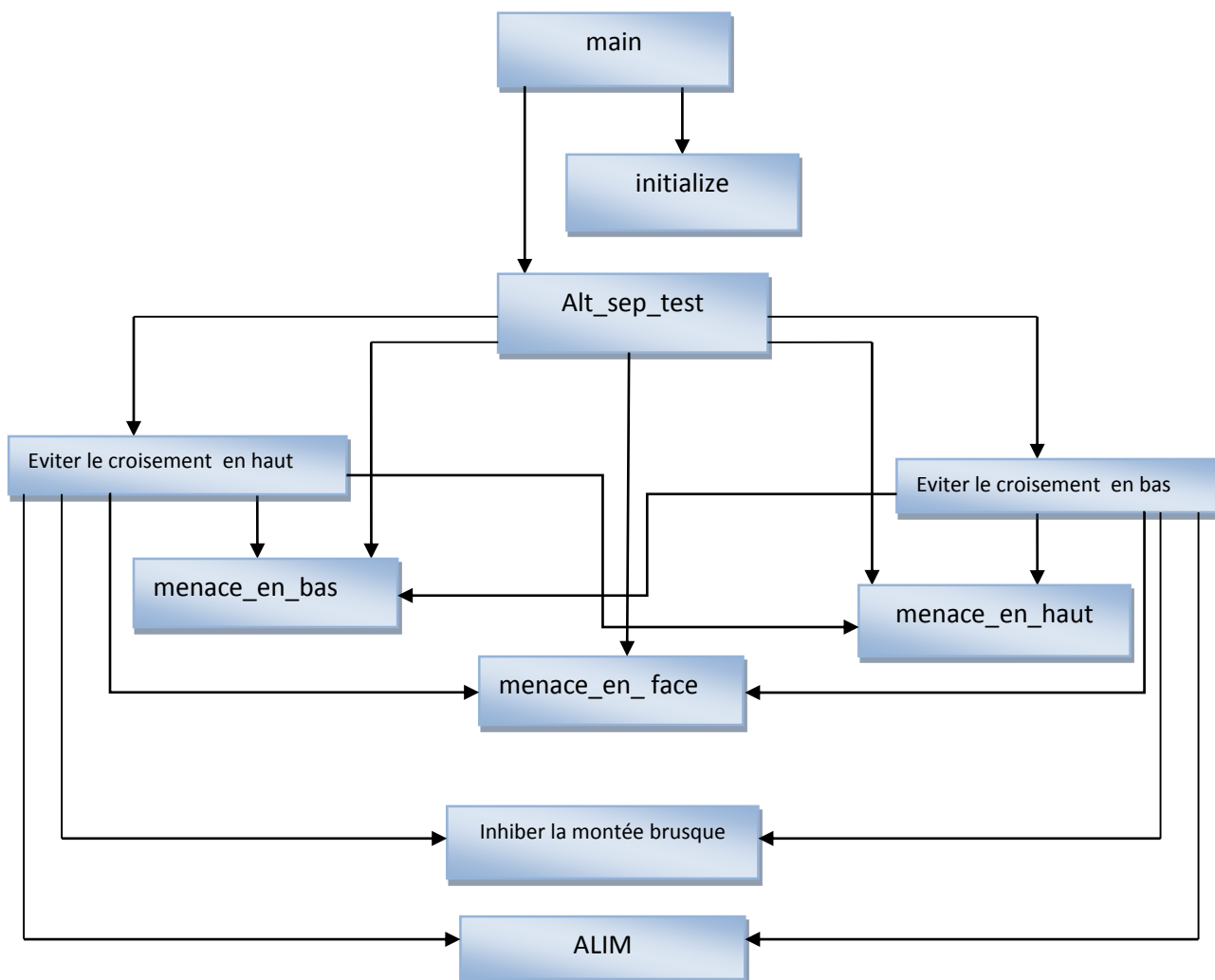


Figure IV. 4 : Organigramme du programme TCAS

Dans ce programme plusieurs propriétés se référant à la possibilité de délivrer un RA soit on haut ou bien on bas.

Le (Tableau IV.1) montre les cinq propriétés doubles formalisées et une propriété d'inversion de la résolution RA, par exemple, la propriété P1b dit que si un manœuvre vers le haut ne produit pas une séparation adéquat alors RA fait un manœuvre vers le bas, comme dans la (figure VI .5), puis un RA vers le haut ne devrait pas été produite. Ces propriétés, entre autres, sont actuellement vérifiées par les examens manuels de code.

Un défi dans ce domaine est de fournir des outils fiables automatisés qui génèrent des données de test, vérifier la conformité d'une implémentation donnée avec des propriétés de sécurité, et de montre que toute déclaration du code source est exécutable.

En outre, prouver que telle ou telle déclaration est en effet exécutable ne peut pas être facilement réalisé par analyse statique standard, comme ces analyses calculent sur approximations des Etats du programme.

Au contraire, les outils de génération automatique de test peuvent produire des solutions capables d'activer certains états sélectionnés d'un programme, prouvant ainsi qu'ils sont effectivement exécutable.

Tableau IV.1 : Propriétés de sécurité pour le programme

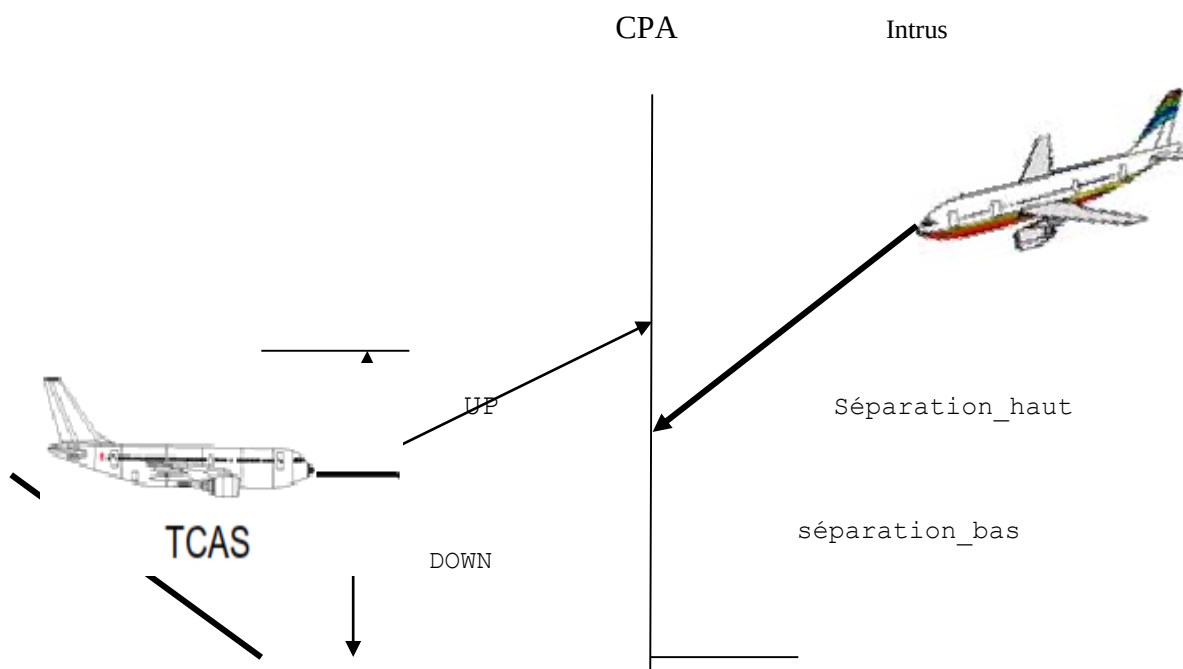


Figure IV. 5: Exemple de résolution de conflit entre deux avions

#### IV.4.Présentation du logiciel DEV C++

Le Dev-C++ est un [environnement de développement intégré](#) (IDE) permettant de programmer en [C](#) et en [C++](#). Développé avec [Borland Delphi](#). Cet IDE complet comprend entre autres un « répertoire de classes », servant à localiser facilement les [fonctions](#), [classes](#) et membres du code source, un « répertoire de fonctions incluses », fonctionnant comme le

| NUM     | PROPRIETE                       | EXPLICATION                                                                                                                                                              | SPECIFICATION                                                                                                                                                                                           |
|---------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proba1a | Sélection consultatif sécurisé  | Un RA vers le bas n'est jamais émis lorsque une manoeuvre vers le bas ne produit pas une séparation adéquat                                                              | Suppose Séparation haut $\geq$ Positive_RA_Alt_seuil<br>$\wedge$ Séparation bas $<$ Positive RA_Alt_seuil<br>assure : résultat = nécessite RA vers le haut                                              |
| Proba1b | Sélection consultatif sécurisé  | Un RA vers le haut n'est jamais émis lorsque une manoeuvre vers le haut ne produit pas une séparation adéquat                                                            | Suppose Séparation haut $<$ Positive RA Alt seuil<br>$\wedge$ Séparation bas $\geq$ Positive RA Alt seuil<br>assure : résultat = nécessite RA vers le bas                                               |
| Proba2a | Meilleure sélection consultatif | Un RA vers le haut n'est jamais publié quand ni monter ou descendre manoeuvres produire la séparation adéquate et une manoeuvre vers le haut produit moins de séparation | Suppose : Séparation_haut $<$ Positive_RA_Alt_seuil $\wedge$ Séparation bas $<$ Positive RA_Alt_seuil<br>Séparation bas $>$ Séparation haut<br>assure : résultat= nécessite RA vers le bas              |
| Proba2b | Meilleure sélection consultatif | Un RA vers le bas n'est jamais publié quand ni monter ou descendre manoeuvres produire la séparation adéquate et une manoeuvre vers le bas produit moins de séparation   | Suppose Séparation_haut $<$ Positive RA Alt seuil<br>$\wedge$ Séparation_bas $<$ Positive RA Alt seuil $\wedge$ Séparation_bas $<$ Séparation_haut<br>Assure: résultat= nécessite RA vers le haut       |
| Proba3a | Évitez le croisement inutile    | Un RA de croisement n'est jamais émis lorsque les deux manoeuvres monter ou descendre entraînent une séparation adéquat                                                  | Suppose Séparation_haut $\geq$ Positive RA Alt seuil<br>$\wedge$ Séparation_bas $\geq$ Positive RA Alt seuil<br>$\wedge$ Tcas_Alt $>$ intrus_chemine_Alt<br>Assure :resultat = nécessite RA vers le bas |



|          |                                            |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                    |
|----------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proba 3b | Évitez le croisement inutile               | Un RA de croisement n'est jamais émis lorsque les deux monter ou descendre manœuvres entraînent une séparation adéquate | Suppose Séparation_haut $\geq$ Positive RA Alt seuil $\wedge$ Séparation_bas $\geq$ Positive_RA_Alt_seuil $\wedge$ Tcas_alt $<$ intrus chemine_Alt<br>assure: résultat = nécessite RA vers le haut |
| Proba4a  | Aucune sélection consultatif de croisement | Un RA de croisement n'est jamais publié                                                                                 | Suppose tcas_Alt $>$ intrus_chemine_Alt<br>assure :résultat = nécessite RA vers le bas                                                                                                             |
| Proba4b  | Aucune sélection consultatif de croisement | Un RA de croisement n'est jamais publié                                                                                 | suppose tcas_Alt $<$ intrus_chemine_Alt<br>assurer résultat = nécessite RA vers le haut                                                                                                            |
| Proba5a  | Sélection consultatif optimale             | Un RA qui produit moins de séparation n'est jamais publié                                                               | Suppose Séparation_bas $>$ Séparation_haut<br>Assure résultat= nécessite RA vers le bas                                                                                                            |
| Proba5b  | Sélection consultatif optimale             | Un RA qui produit moins de séparation n'est jamais publié                                                               | Suppose Séparation_bas $<$ Séparation_haut<br>Assure résultat = nécessite RA vers le haut                                                                                                          |
| Proba6b  | Sélection consultatif sécurisé             | Un RA d'inversion est obligatoire quand un manœuvre vers le bas produit moins de séparation                             | Suppose tcas_Alt = intrus_chemine_Alt $\wedge$ Séparation_bas $>$ 100<br>Assure résultat = nécessite RA vers le haut immédiate                                                                     |

répertoire de classes mais pour chercher dans les fichiers inclus ([header](#)), et un [débugueur](#) qui permet de surveiller l'état des [variables](#) pendant l'exécution du programme. Il souffre en revanche de l'absence d'un éditeur de [ressources](#), ce qui rend la conception d'applications délicate si on ne fait pas appel à un outil externe.

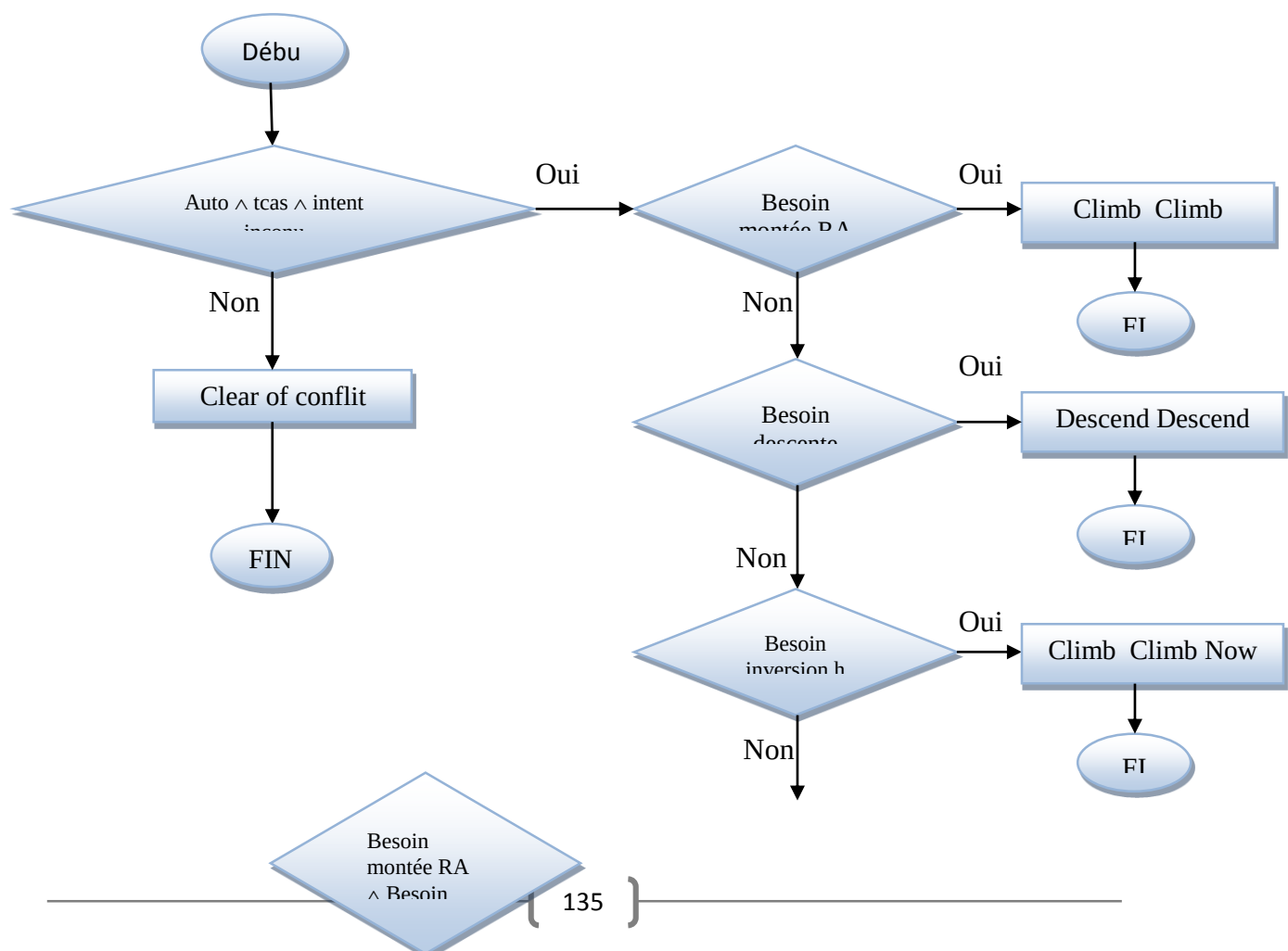
Le Dev-C++ est très rapide ce qui en fait un langage de choix pour les applications critiques qui ont besoin de performances.

#### IV.5. Programmation des modes de fonctionnement

Nous avons programmé sous C++ le fonctionnement de TCAS II V7.1, pour chaque fonction on a établi un organigramme défini selon le principe de fonctionnement.

##### 5.1 .Mode 1 : le test de séparation

Quand le TCAS est en mode « AUTOMATIC », est l'intention de manœuvre est inconnue, le TCAS délivre les RA selon la géométrie de conflit pour assurer l'anti-abordage. L'organigramme ci-dessous représente les différents cas de la programmation de résolution.



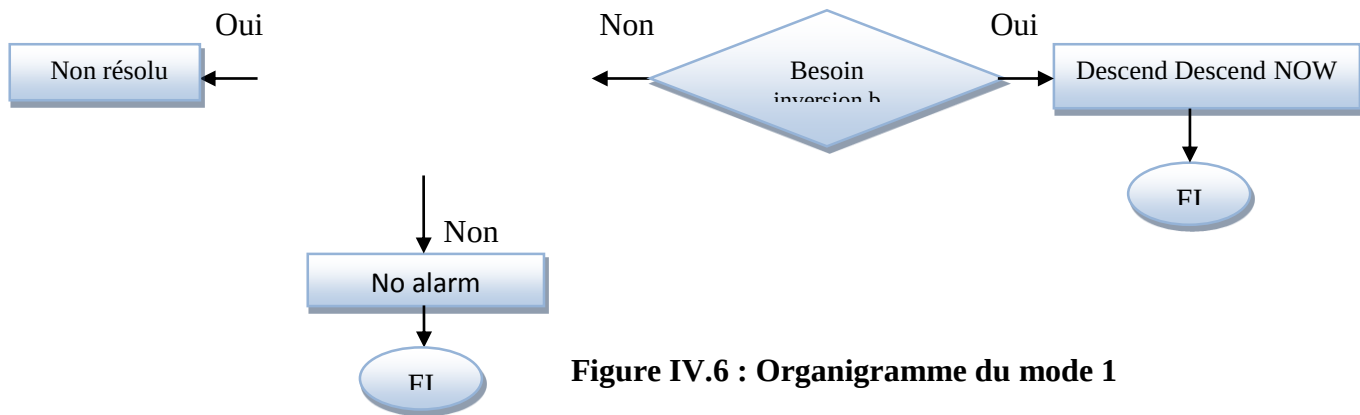


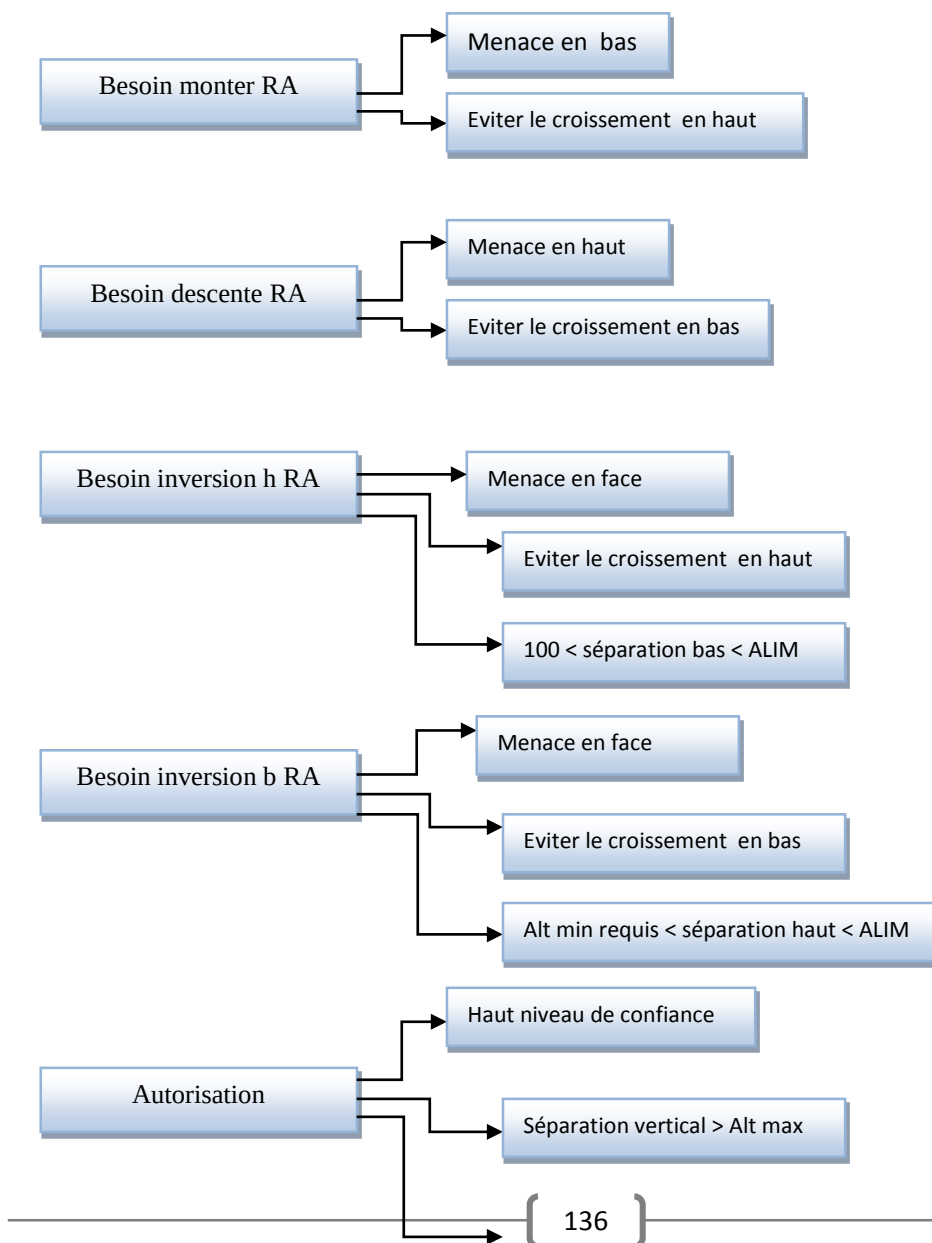
Figure IV.6 : Organigramme du mode 1

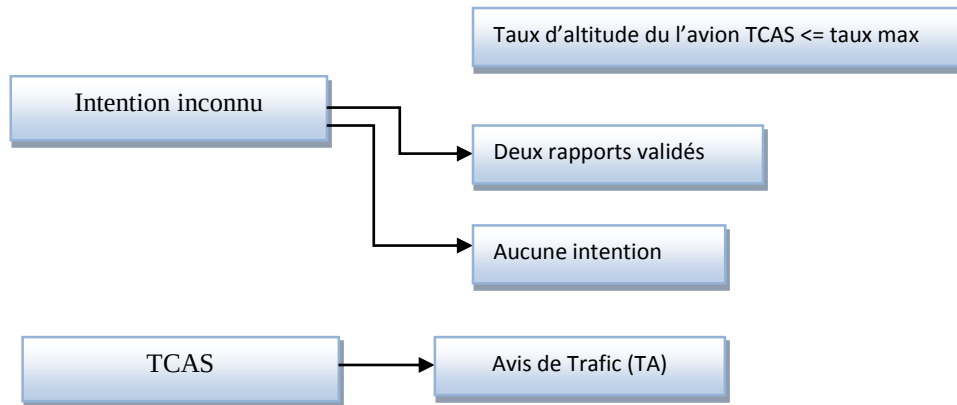
Auto : autorisation

Intent inconnu : intention inconnu

Inversion b : un manœuvre d'inversion vers le bas

Inversion h : un manœuvre d'inversion vers le haut ; TCAS : avis de trafic (TA)





**Figure IV.7 : Organigramme des fonctions utilisées dans le test de séparation**

Alt max : La différence d'altitude maximale = 600 ft

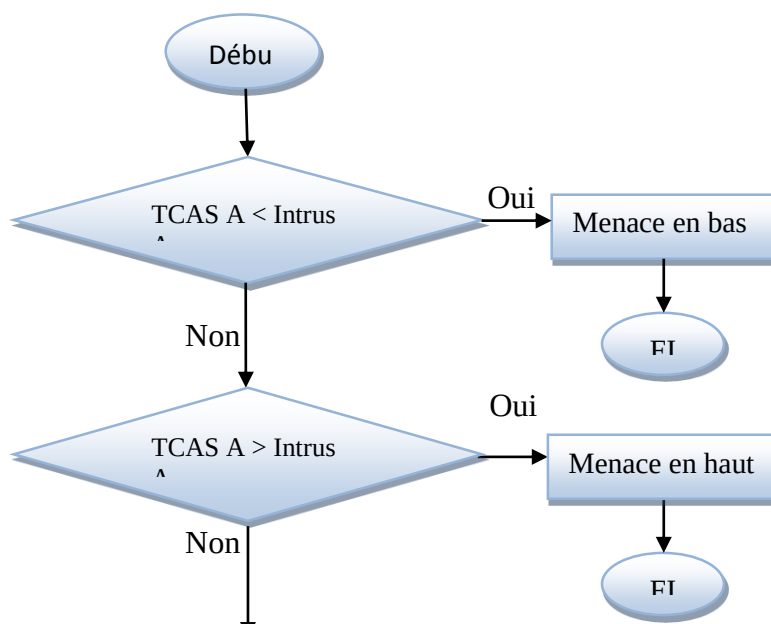
Alt min requis : L'altitude minimale requis pour un manœuvre d'inversion = 100 ft

Taux max : Le taux maximal = 600 ft/mn

Deux rapports validés : l'altitude de l'avion TCAS et l'altitude de l'avion intrus

## 5.2 .Mode 2 : la Détection de menace

Lorsque l'altitude de l'avion intrus est inférieure à l'altitude de l'avion TCAS alors la menace est en bas par rapport au TCAS et vis-versa, et si les deux avions sont à la même altitude le TCAS détecte que la menace est en face.



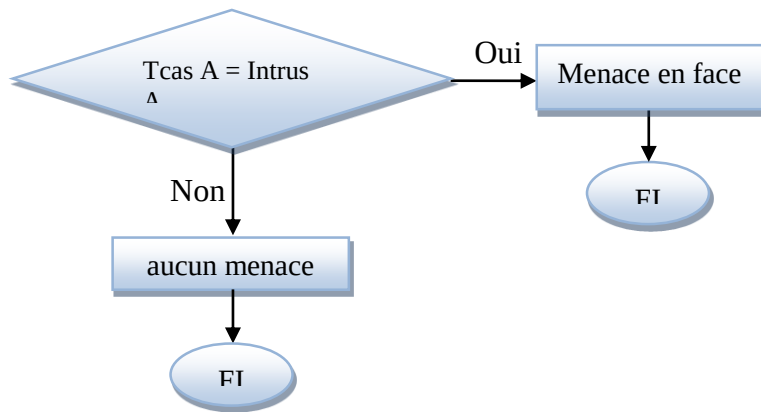


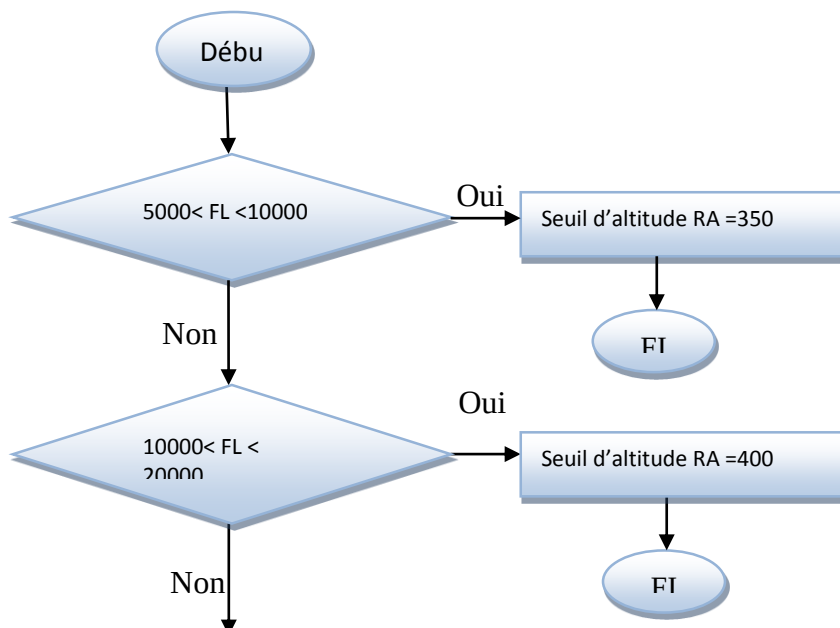
Figure IV.8 : Organigramme du mode 2

TCAS A : l'altitude de l'avion TCAS

Intrus A : l'altitude de l'avion intrus

### 5.3 .Mode 3 : La fonction ALIM

Le seuil d'altitude (ALIM) est déterminer a partir des déférents niveaux de vol, dans notre programme on à établie quatre niveau chaque niveau corresponde à un seuil d'altitude.



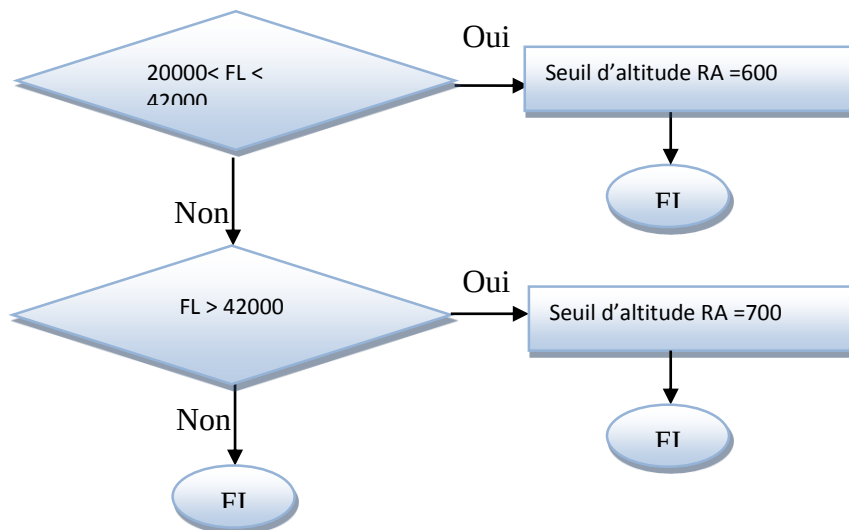


Figure IV.9 : Organigramme du mode 3

#### 5.4 .Mode 4 : Inhiber la montée

Lorsque l'avion TCAS fait un manœuvre vers le haut il nécessite une réduction de la vitesse verticale à 0 ft /min, nous avons fait une estimation d'altitude nécessaire pour réduire la vitesse verticale, cette altitude égale à (séparation haut estimé par le TCAS + 100 ft)

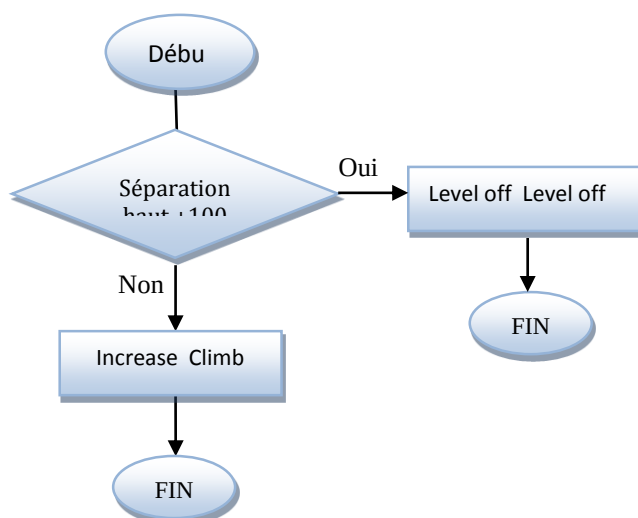


Figure IV.10 : Organigramme du mode 4

### 5.5.Mode 5 : Eviter le croisement en haut

Pour éviter le croisement avec l'avion intrus nous avons programmé des algorithmes selon le cas de manœuvre, si l'avion TCAS préféré de montée alors que la menace est en bas et l'altitude entre les deux avions est supérieure au seuil de déclenchement des RA (ALIM).

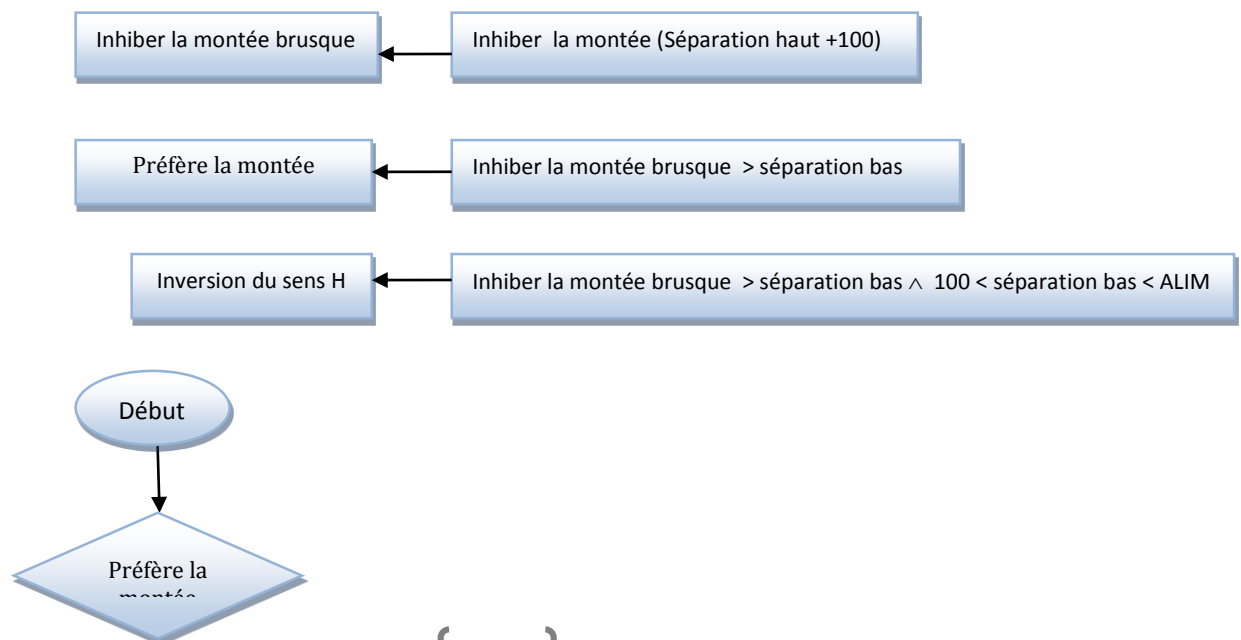
Si l'avion TCAS préféré de faire un manœuvre vers le bas alors que la menace reste en haut, et la séparation minimale entre les deux avions est supérieure à (ALIM).

La condition (séparation vertical entre les deux avion > la séparation minimale) est toujours vrai, car le contraire provoque la fonction (autorisation) dans le test de séparation, alors cette fonction ne soit pas appelé en raison de la logique d'algorithme, donc cette condition est pour objet de garder la séparation minimal entre les deux avion on cas où l'avion fait un manœuvre opposé. Voir (Figure IV.11).

Un RA d'inversion du sens ne peut pas être délivré comme un RA initial car dans les deux sens d'inversion la séparation est inadéquate, mais pour une meilleure sélection consultatif, l'algorithme choisi le manœuvre qui produite moins de séparation entre les deux avions.

Un RA d'inversion vers le haut est délivrer dans le cas où l'avion TCAS est entrain de faire un manœuvre vers le bas et le programme reçoit la même altitude des deux avions, dans ce cas, le TCAS délivré un RA vers le haut et vis-versa.

La condition ( $100 < \text{séparation bas} < \text{ALIM}$ ) c'est pour borné le choix de RA vers le haut ou bien vers le bas, ainsi représente la séparation minimale pour que l'avion peut faire un manœuvre sont danger (100ft)



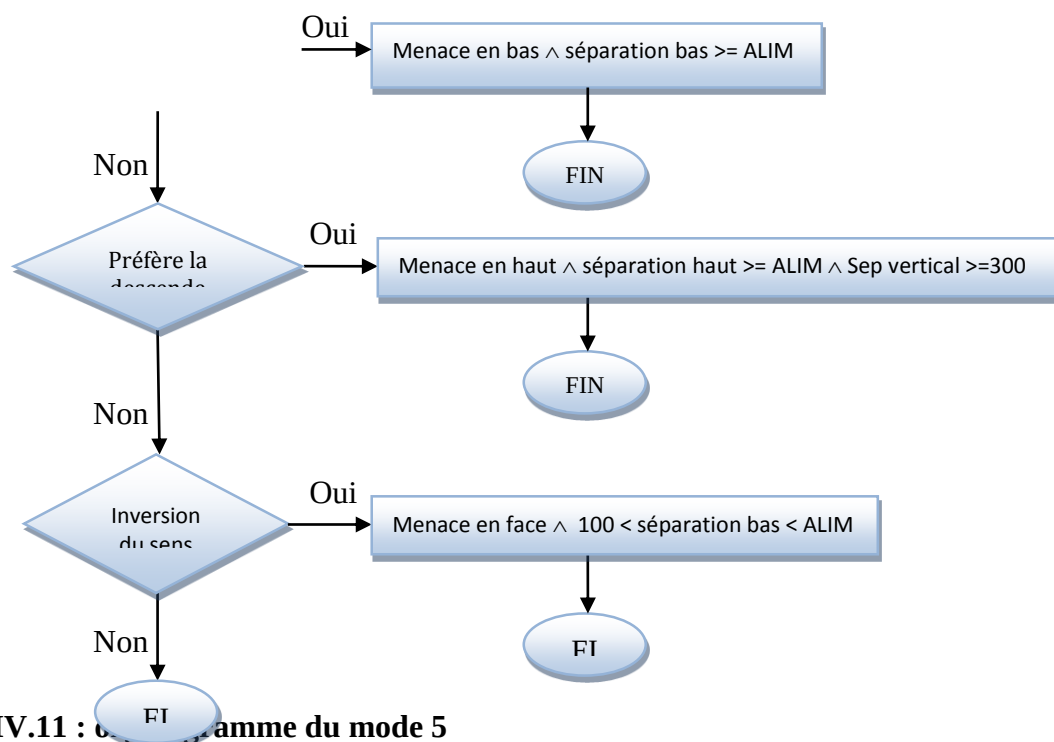


Figure IV.11 : Logigramme du mode 5

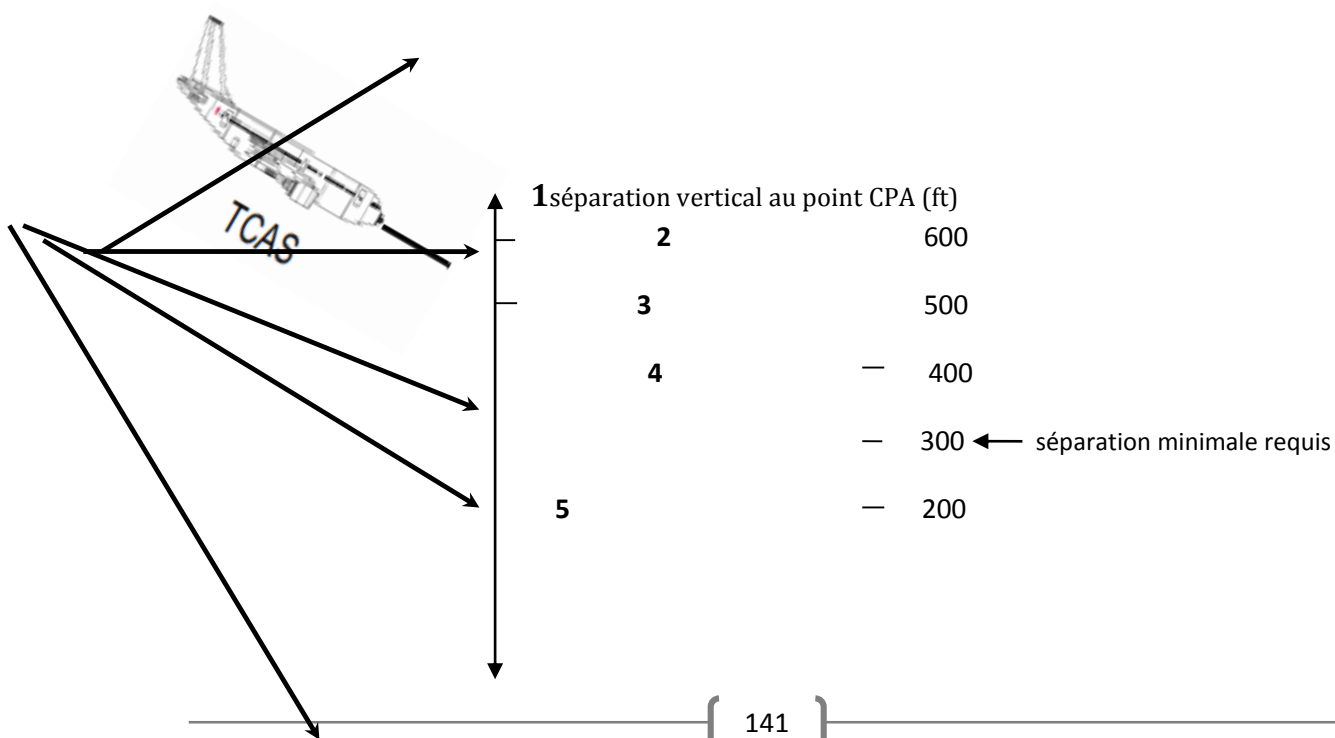
1 : limite de montée

4 : limite de descendre à 1000ft /min

2 : limite de ne pas descendre

5 : limite de descendre à 2000ft /min

3 : limite de descendre à 500ft /min





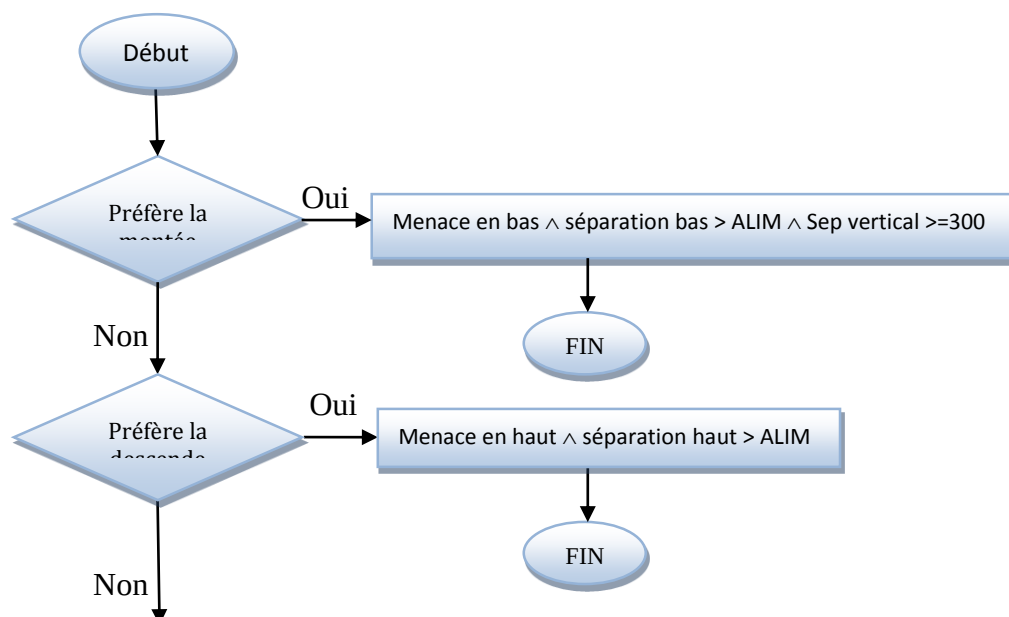
— 100



Figure IV.12 : La séparation verticale au point CPA

### 5.6.Mode 6 : Eviter le croisement en bas

Pour éviter le croisement en bas avec l'avion intrus en refaire l'algorithme d'évitement de croisement en haut, sauf que on à ajouter la condition (séparation vertical entre les deux avions  $>$  la séparation minimale) dans le cas où l'avion TCAS préféré de monter pour garder un seuil de séparation minimal entre les deux avions



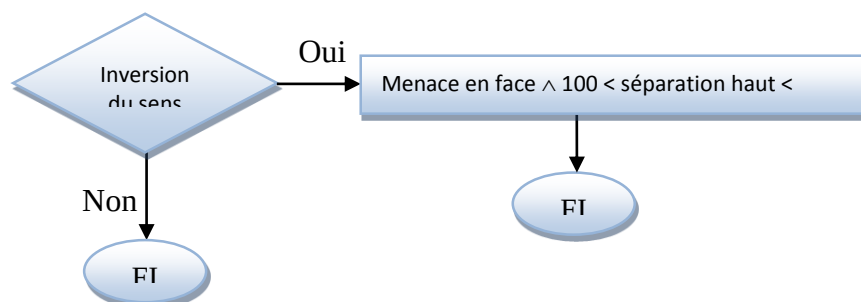


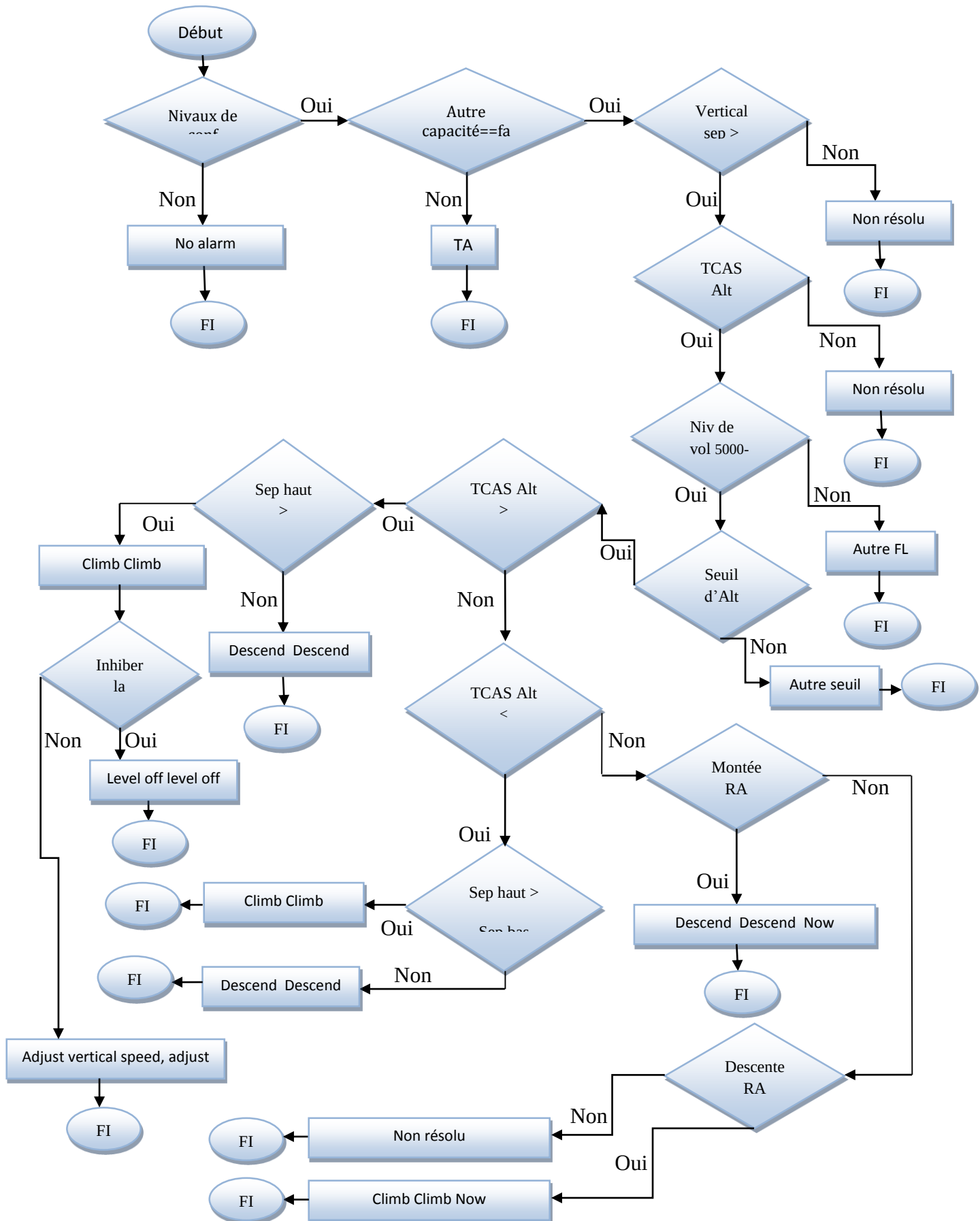
Figure IV.1 3 : organigramme du mode 6

#### IV.6.Le test de séparation

Pour le test de séparation on à choisi 6 probabilité avec des différents valeurs qui sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Les valeurs de test de séparation entre deux aéronefs

| variables                                | Proba 2b   | Proba 3a   | Proba 4a   | Proba 4b   | Proba 5b   | Proba 6a   |
|------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Haute niveau de confiance (bool)         | True       | True       | True       | True       | True       | True       |
| Autre capacité (bool)                    | False      | False      | False      | False      | False      | False      |
| Inhiber la montée (1 : true , 0 : false) | 0          | 0          | 0          | 1          | 1          | 1          |
| Verticale séparation (ft)                | 900        | 950        | 800        | 800        | 720        | 900        |
| Avion TCAS altitude taux (ft /mn)        | 450        | 450        | 450        | 450        | 450        | 450        |
| Seuil d'altitude RA 0 (ft)               | 450        | 450        | 450        | 450        | 450        | 450        |
| Seuil d'altitude RA 1                    | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Seuil d'altitude RA 2                    | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Seuil d'altitude RA 3                    | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Niveaux de vol (ft)                      | 5000-10000 | 5000-10000 | 5000-10000 | 5000-10000 | 5000-10000 | 5000-10000 |
| Séparation haut (ft)                     | 350        | 600        | 700        | 520        | 750        | 520        |
| Séparation bas (ft)                      | 400        | 500        | 570        | 400        | 680        | 180        |
| Avion TCAS altitude (ft)                 | 9500       | 9734       | 8989       | 6700       | 7850       | 9889       |
| Avion intrus altitude (ft)               | 8600       | 8980       | 7800       | 7850       | 8680       | 9889       |



**Figure IV.14 : organigramme de compilation du la résolution optimale**

**IV.7.Exécution du programme :** pour l'exécution du programme on a choisi 6 niveaux de test de séparation avec des déferentes valeurs initiales.

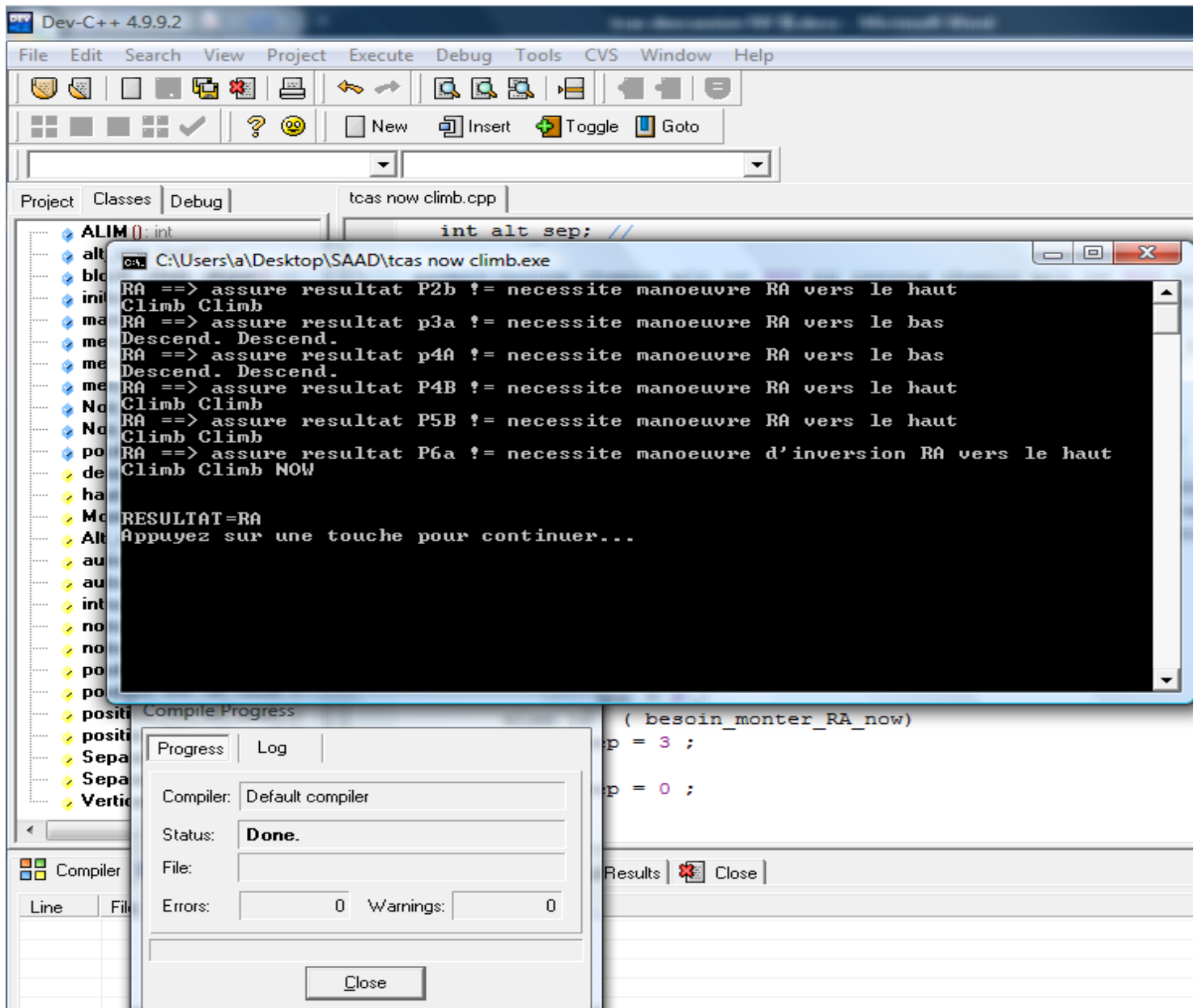


Figure IV. 15 : Résultat du l'exécution du programme

## IV.8.Résultats du test

- Pour tester l'efficacité du programme on a modifié la séparation vertical a une valeur inferieur à 400 ft dans la proba2b, et cela signifier que la séparation vertical est inferieur aux seuil d'altitude .

## résultats

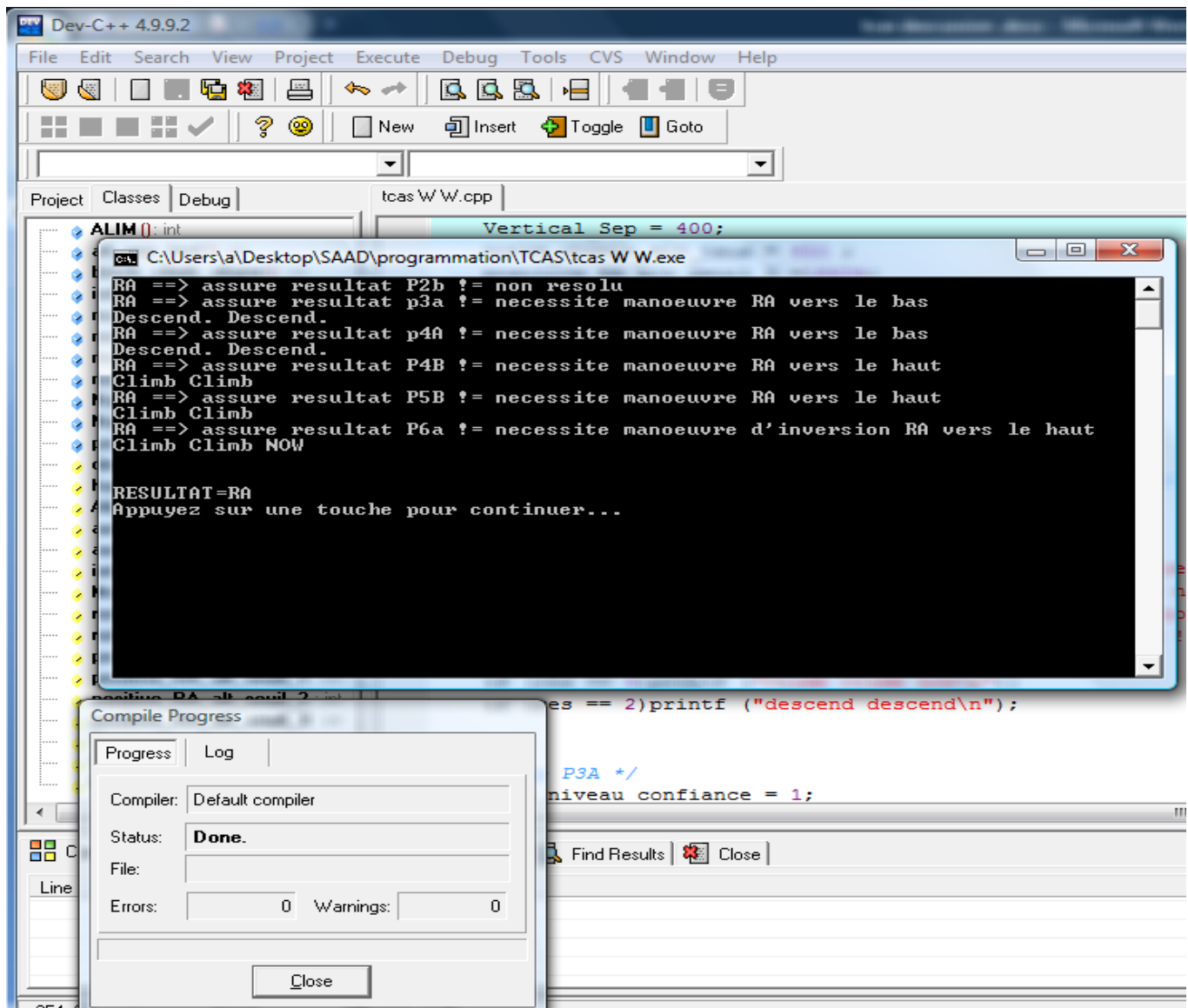


Figure IV.16 : Résultat du test 01

Le programme assure le résultat « non résolu », et cela confirme l'adabtation du code a les normes de système de résolution des conflits (RA), car le programme donne la résolution avant d'atteindre le seuil d'altitude.

- Dans le deuxième test on a modifié la valeur de `séparation_haut` par rapport au valeur de `séparation_bas` dans la (proba2b) , ( $\text{séparation\_haut} < \text{séparation\_bas}$ )

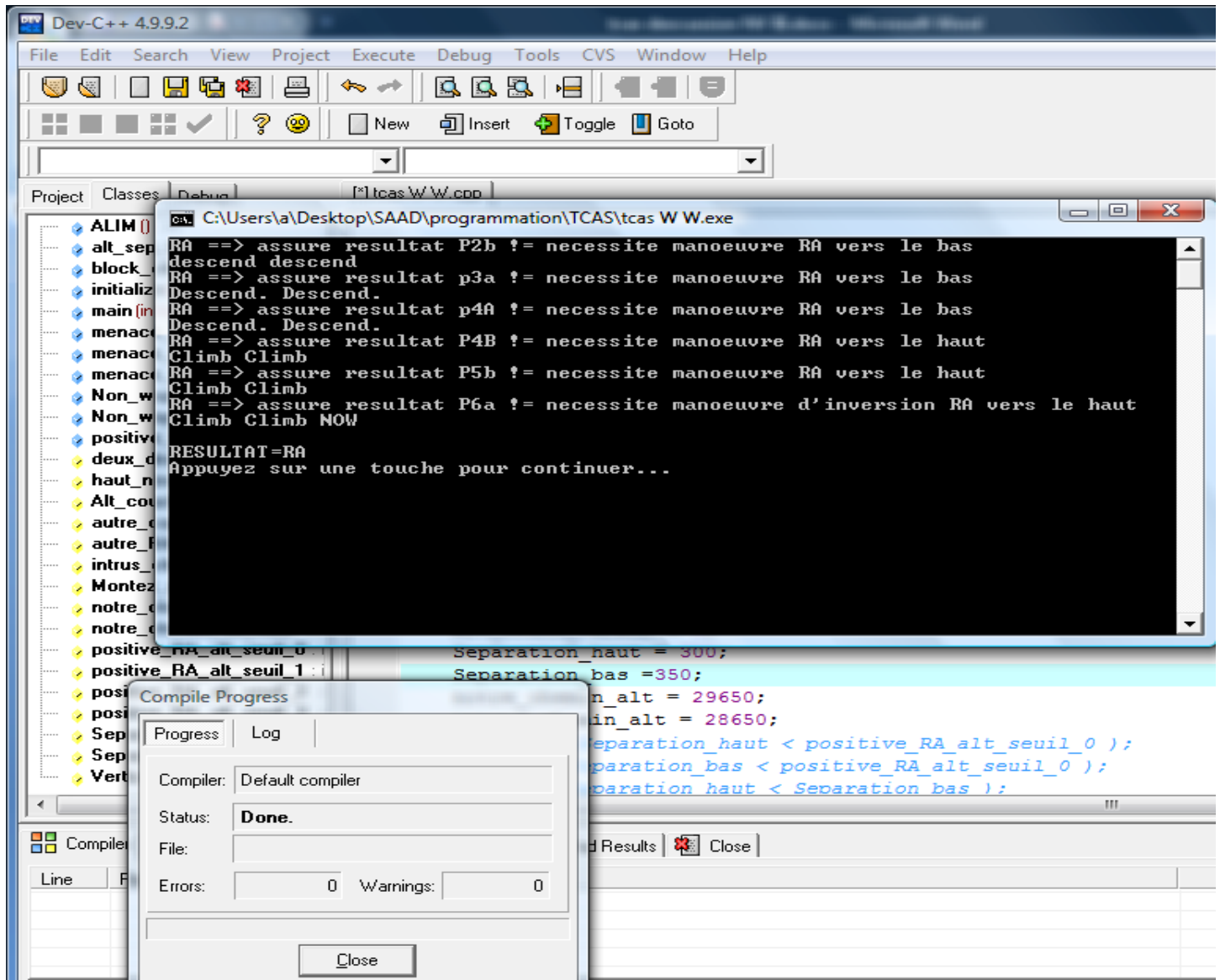


Figure IV.17 : Résultat du teste 02

Et ce la signifie que le programme fait la résolution dans le sens où la séparation est adéquat  
voir (figure IV.18)



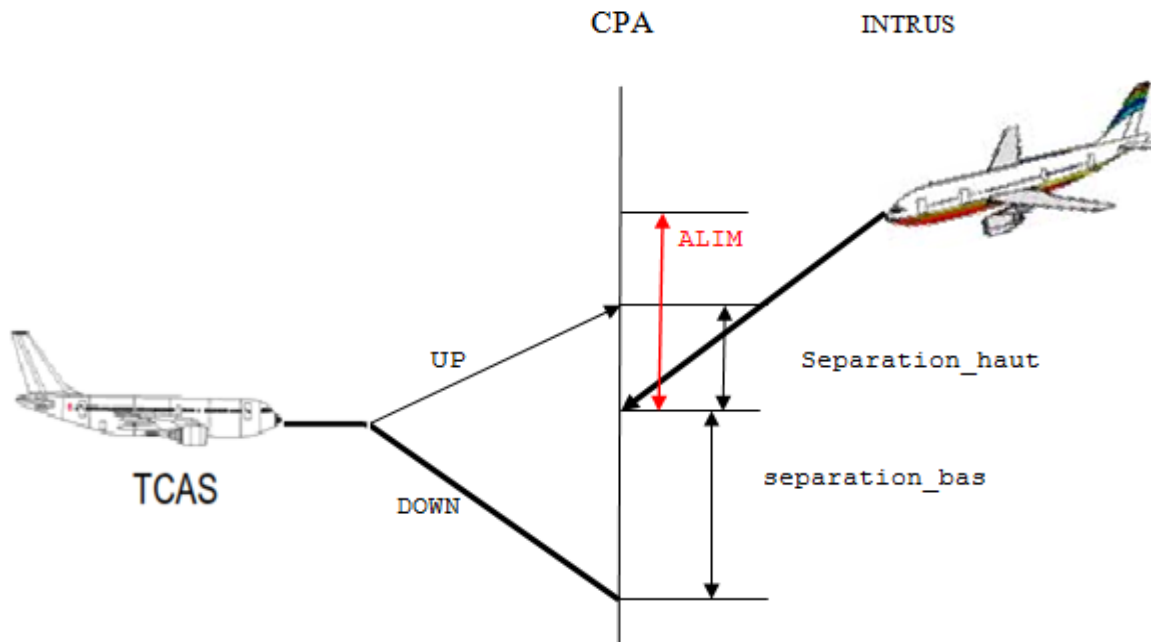
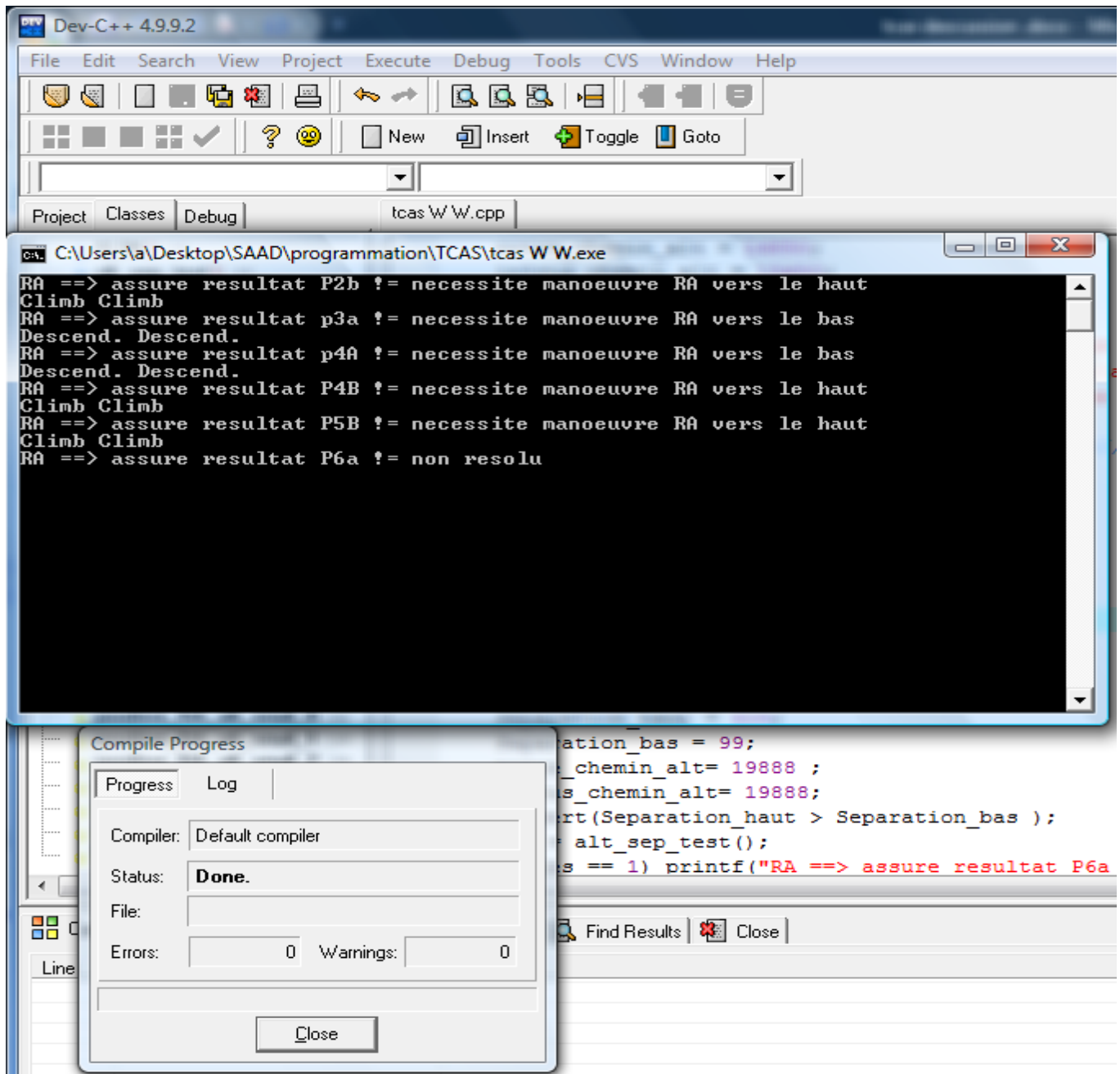


Figure IV. 18: Exemple du test N°02

- Pour vérifier l'efficacité du programme Dans le 3eme test on a modifié la valeur de `separation_bas` dans la (proba6a), soit une valeur egale à 99 ft .

## Résultat



```
Dev-C++ 4.9.9.2
File Edit Search View Project Execute Debug Tools CVS Window Help
[Icons]
[Buttons: New, Insert, Toggle, Goto]
Project Classes Debug tcas W W.cpp

C:\Users\A\Desktop\SAAD\programmation\TCAS\tcas W W.exe
RA ==> assure resultat P2b != necessite manoeuvre RA vers le haut
Climb Climb
RA ==> assure resultat p3a != necessite manoeuvre RA vers le bas
Descend. Descend.
RA ==> assure resultat p4A != necessite manoeuvre RA vers le bas
Descend. Descend.
RA ==> assure resultat P4B != necessite manoeuvre RA vers le haut
Climb Climb
RA ==> assure resultat P5B != necessite manoeuvre RA vers le haut
Climb Climb
RA ==> assure resultat P6a != non resolu

Compile Progress
Progress Log
Compiler: Default compiler
Status: Done.
File:
Errors: 0 Warnings: 0
Close

[Code Snippet]
...
Separation_bas = 99;
..._chemin_alt= 19888 ;
..._chemin_alt= 19888;
...rt(Separation_haut > Separation_bas );
...alt_sep_test();
...s == 1) printf("RA ==> assure resultat P6a
```

Figure IV.19 : Exemple du test N°03

Dans ce cas la le système ne délivra pas des RA dans le cas où la séparation<sub>bas</sub> est inadéquat pour fair un manoeuvre d'inversion.c.à.d le temps nécessaire pour agir à un manoeuvre n'est pas suffisant.

## IV.9. Conclusion :

Ce chapitre présente les résultats d'une expérience sur la programmation d'un composant logiciel de système d'évitement d'abordage (TCAS), les tests de validation visent à vérifier des exigences techniques de haut niveau par des simulations et des scénarios opérationnels, pour montrer que toute déclaration du code source est exécutable. Comme conséquence de la complexité croissante des logiciels d'avionique qui nécessitent des ingénieurs compétents et expérimentés.

---

# Conclusion Générale

Le système en charge de la gestion du trafic aérien est en pleine mutation. Pour continuer à assumer ses prérogatives, à savoir garantir un écoulement sûr et fluide de l'ensemble du trafic aérien alors que le trafic continue de croître, les innovations sont nécessaires. Le concept CNS /ATM assure les bases de travail pour ces innovations. Parmi ces innovations, le problème de surveillance, la résolution des conflits avec un système autonome « TCAS » est particulièrement étudié puisque l'apport d'un outil d'aide à la décision pour le contrôleur serait une avancée en vue d'une automatisation partielle du contrôle aérien.

Ceci nous oblige à investir et à nous impliquer dans la plupart des axes de recherches, car ce que nous attendons de plus en plus, c'est un service « *free flight* », un service où les hommes et les machines ont trouvé leurs places dans la boucle et où ils collaborent harmonieusement et efficacement, et permettent ainsi d'atteindre les performances globales attendues.

Notre approche pourrait prouver que il faudra une amélioration des algorithmes et des techniques de calcul pour améliorer la précision des taux de RA et réduire à un minimum les "alertes intempestives", tout en maintenant les niveaux actuels de sécurité.

Nous avons décrit avec précision les modes de fonctionnement des alarmes nécessaires pour la séparation verticale, et cela facilite le développement d'un algorithme qui peut gérer les conflits et donner des RA dans le sens horizontal pour augmenter encore la séparation totale entre les aéronefs, dans les deux aspects horizontaux et verticaux, qui permet aux zones où le trafic est bloqué de recevoir davantage d'avions dans toutes les dimensions de vol.